

**ANALISIS KELIMPAHAN MIKROPLASTIK PADA AIR  
LINDI DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) GAMPONG  
JAWA BANDA ACEH**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan oleh:**

**ALMA SHADRINA**

**NIM. 180702069**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
DARUSSALAM-BANDA ACEH  
2023 M/1444 H**

**LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KELIMPAHAN MIKROPLASTIK PADA AIR  
LINDI DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) GAMPONG  
JAWA BANDA ACEH**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

**ALMA SHADRINA**

**NIM. 180702069**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan**

Banda Aceh, 25 Desember 2023  
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I,



**Dr. H. Muhammad Nizar, M.T.**  
**NIDN. 0122057502**

Pembimbing II,



**Arief Rahman, M.T.**  
**NIDN. 2010038901**

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



**Husnawati Yahya, M.Sc.**  
**NIDN. 2009118301**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KELIMPAHAN MIKROPLASTIK PADA AIR  
LINDI DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) GAMPONG  
JAWA BANDA ACEH**

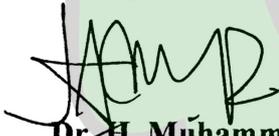
**TUGAS AKHIR**

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Senin, 25 Desember 2023  
12 Jumadil Akhir 1445 H

**Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi**

Ketua,



**Dr. H. Muhammad Nizar, M.T.**

NIDN. 0122057502

Sekretaris,



**Arief Rahman, M.T.**

NIDN. 2010038901

Penguji I,



**Dr. Ir. Hj. Irhamni, S.T., M.T., IPM**

NIDN. 0102107101

Penguji II,



**M. Faisi Ikhwali, M. Eng.**

NIDN. 2008109101

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



**Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU**

NIP. 196210021988111001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alma Shadrina  
NIM : 180702069  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh  
Judul Skripsi : Analisis Kelimpahan Mikroplastik Pada Air Lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gampong Jawa Banda Aceh

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 25 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Alma Shadrina  
180702069

## ABSTRAK

Nama : Alma Shadrina  
NIM : 180702069  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Analisis Kelimpahan Mikroplastik Pada Air Lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gampong Jawa Banda Aceh  
Tanggal Sidang : 25 Desember 2023  
Jumlah Halaman : 70 lembar  
Pembimbing I : Dr. H. Muhammad Nizar, M.T.  
Pembimbing II : Arief Rahman, M.T.  
Kata Kunci : Mikroplastik, Polimer Mikroplastik, Air Lindi TPA

Mikroplastik merupakan partikel kecil dari sampah plastik berukuran kurang dari 5 mm yang terbentuk dari proses fragmentasi plastik. Mikroplastik memiliki kemampuan menjadi media transfer polutan berbahaya dalam jumlah besar seperti logam, obat-obatan dan organisme berbahaya. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kelimpahan dan karakteristik mikroplastik pada air lindi, jenis polimer serta upaya penanggulangan mikroplastik di lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling* pada 4 titik lokasi diantaranya kolam anaerobik, fakultatif, maturasi dan efluen alir lindi. Metode pengujian sampel diadopsi dari penelitian oleh Ihsan (2021) dan Utami (2022) yang dimulai dengan pengambilan sampel, tahapan WPO (*Wet Peroxide Oxygen*), separasi dan filtrasi. Sedangkan metode identifikasi mikroplastik menggunakan mikroskop binokuler dan FTIR untuk mengetahui bentuk dan jenis polimer dari mikroplastik. Hasil penelitian menunjukkan kelimpahan tertinggi yaitu pada T1 sebesar 870 partikel/0,2 L dan terendah yaitu T4 sebesar 110 partikel/0,2 L. Bentuk mikroplastik yang ditemukan adalah fragmen, film, fiber dan pellet. Kelimpahan warna mikroplastik yang teridentifikasi diantaranya hitam, abu-abu, coklat, merah, biru, hijau dan transparan. Hasil dari analisis FTIR dikonfirmasi dengan gugus fungsi yang menunjukkan bahwa terdapat beberapa jenis polimer mikroplastik yaitu Nylon, PC, LDPE, PVC, PP dan PS. Upaya yang dapat dilakukan untuk menanggulangi penyebaran mikroplastik di lingkungan dengan mengoptimalkan pengelolaan limbah plastik, pengembangan teknologi, regulasi terkait penggunaan plastik, kolaborasi penelitian dan edukasi limbah plastik.

## ABSTRACT

Name : Alma Shadrina  
NIM : 180702069  
Study Program : Environmental Engineering  
Title : Analysis of Microplastic Abundance in Leachate Water at the Gampong Jawa Landfill (TPA) Banda Aceh  
Session Date : 25 December 2023  
Number of pages : 70 pages  
Advisor I : Dr. H. Muhammad Nizar, M.T.  
Advisor II : Arief Rahman, M.T.  
Keywords : Microplastic, Microplastic Polymer, Leachate

*Microplastics are small particles of plastic waste less than 5 mm in size that are formed from the plastic fragmentation process. Microplastics have the ability to become a transfer medium for large amounts of hazardous pollutants such as metals, drugs and harmful organisms. The purpose of this study was to determine the abundance and characteristics of microplastics in leachate water, polymer types and efforts to overcome microplastics in the environment. This study used a purposive sampling method at 4 location points including anaerobic, facultative, maturation and leachate flow effluent ponds. The sample testing method was adopted from research by Ihsan (2021) and Utami (2022) starting with sampling, WPO (Wet Peroxide Oxygen), separation and filtration stages. While the microplastic identification method uses binocular microscopy and FTIR to determine the shape and type of polymer from microplastics. The results showed that the highest abundance was in T1 with 870 particles/0.2 L and the lowest was T4 with 110 particles/0.2 L. The forms of microplastics found were fragments, films, fibers and pellets. The abundance of microplastic colors identified included black, gray, brown, red, blue, green and transparent. The results of the FTIR analysis were confirmed with functional groups showing that there are several types of microplastic polymers, namely Nylon, PC, LDPE, PVC, PP and PS. Efforts can be made to tackle the spread of microplastics in the environment by optimizing plastic waste management, technology development, regulations related to plastic use, research collaboration and plastic waste education.*

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*, segala puji bagi Allah Swt. Tuhan yang Maha Esa, pencipta alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. *Shalawat* beriringan salam kita sanjungkan kepada Baginda Rasulullah saw. serta para sahabat beliau yang telah mengantarkan kita menuju alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti saat ini. Alhamdulillah dengan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Kelimpahan Mikroplastik Pada Air Lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gampong Jawa Banda Aceh”. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) di Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih setulusnya kepada Ibunda Masyithah dan Ayahnda Alamsyah, S.H. selaku orang tua yang sangat penulis cintai yang telah memberikan semangat, motivasi, dukungan, kasih sayang dan mendoakan penulis tiada henti sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Tak lupa pula penulis mengutarakan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Bapak Arief Rahman, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis yang telah memberikan bimbingan selama penulis menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

5. Bapak Dr. H. Muhammad Nizar, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penyusunan tugas akhir.
6. Bapak Arief Rahman, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan pada penulisan tugas akhir.
7. Ibu Nurul Huda, S.Pd., selaku Laboran Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry.
8. Seluruh staf/karyawan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah memberikan banyak bantuan.
9. Rekan-rekan seperjuangan Yuni Maisarah, Intan Maghfirah, Ega Rosita Urbah, Noliza dan Maya Angela serta adik-adik tercinta penulis yang telah membantu dan memberikan semangat sehingga tugas akhir penulis dapat terselesaikan.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi pembaca. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan dan penyempurnaan tugas akhir ini di masa mendatang. Penulis mengharapkan semoga tujuan penyusunan tugas akhir ini dapat tercapai seperti yang diharapkan.

Banda Aceh, 25 Desember 2023

Penulis,

**Alma Shadrina**

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Plastik .....	6
2.2 Mikroplastik.....	6
2.2.1 Morfologi Mikroplastik .....	7
2.2.2 Sumber Mikroplastik .....	9
2.2.3 Degradabilitas Mikroplastik .....	10
2.2.4 Bioakumulasi Mikroplastik.....	11
2.2.5 Dampak Mikroplastik .....	12
2.3 Analisis Mikroplastik .....	12
2.3.1 Kelimpahan dan Karakterisasi Mikroplastik .....	12
2.3.2 Mikroskop Binokuler.....	14
2.3.3 FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> ).....	14
2.4 Pengolahan Air Lindi TPA Gampong Jawa .....	16
2.5 Penelitian Terdahulu .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1 Tahapan Umum Penelitian .....	19
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	21
3.3 Alat dan Bahan .....	24
3.4 Pengumpulan Data.....	24
3.5 Metode Pengambilan Sampel .....	24
3.6 Analisis Laboratorium .....	25
3.6.1 Pengujian Mikroplastik.....	25
3.6.1.1 WPO ( <i>Wet Peroxide Oxygen</i> ) .....	25

3.6.1.2	Separasi.....	26
3.6.1.3	Filtrasi.....	27
3.6.1.4	Pengamatan dengan Mikroskop.....	27
3.6.1.5	Pengamatan dengan FTIR.....	28
3.7	Analisis Data.....	28
3.7.1	Analisis Data Mikroplastik.....	28
3.7.2	Analisis Data Polimer.....	29
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>30</b>
4.1	Hasil Analisis Kelimpahan Mikroplastik.....	30
4.1.1	Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Jumlah.....	32
4.1.2	Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Bentuk.....	34
4.1.3	Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Warna.....	38
4.3	Jenis Polimer Mikroplastik.....	41
4.3	Upaya Penanggulangan Mikroplastik di TPA Gampong Jawa.....	44
4.3.1	Pendekatan Teknologi.....	44
4.3.1.1	Degradasi Biologis.....	44
4.3.1.2	Metode Pemisahan.....	45
4.3.1.3	Daur Ulang.....	46
4.3.2	Pendekatan Holistik.....	47
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>50</b>
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>52</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>58</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Persentase dan Komposisi Sampah di Banda Aceh .....	<b>3</b>
<b>Gambar 2.1</b>	Bentuk mikroplastik: A. Fiber, B. Film, C. Fragmen, dan D. Granula. ....	<b>8</b>
<b>Gambar 2.2</b>	Prinsip Kerja Alat FTIR .....	<b>14</b>
<b>Gambar 2.3</b>	Sumber Mikroplastik dari TPA .....	<b>16</b>
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	<b>20</b>
<b>Gambar 3.2</b>	(a) Kolam Anaerob; (2) Kolam Fakultatif; (3) Kolam Maturasi; dan 4) Efluen Air Lindi .....	<b>21</b>
<b>Gambar 3.3</b>	Denah Kolam Lindi TPA Gampong Jawa Banda Aceh .....	<b>22</b>
<b>Gambar 3.4</b>	Peta Titik Sampling di TPA Gampong Jawa Banda Aceh .....	<b>23</b>
<b>Gambar 3.5</b>	Pengambilan Sampel Air Lindi .....	<b>23</b>
<b>Gambar 3.6</b>	(a) Penambahan $H_2O_2$ pada sampel; (b) Proses penambahan 20 mL $FeSO_4$ ; (c) Proses pemanasan dengan <i>hot plate</i> .....	<b>26</b>
<b>Gambar 3.7</b>	(a) Penambahan NaCL 200 mL; (b) Proses pengadukan larutan dengan <i>magnetic stirrer</i> .....	<b>26</b>
<b>Gambar 3.8</b>	Penyaringan mikroplastik menggunakan pompa vakum .....	<b>27</b>
<b>Gambar 3.9</b>	Identifikasi jumlah, bentuk dan warna mikroplastik dengan mikroskop .....	<b>27</b>
<b>Gambar 3.10</b>	Pengujian Polimer Mikroplastik dengan instrument FTIR ....	<b>28</b>
<b>Gambar 4.1</b>	Titik Sampling Kolam Anaerobik (Titik 1) .....	<b>29</b>
<b>Gambar 4.2</b>	Titik Sampling Kolam Fakultatif (Titik 2) .....	<b>30</b>
<b>Gambar 4.3</b>	Titik Sampling Kolam Maturasi (Titik 3) .....	<b>30</b>
<b>Gambar 4.4</b>	Titik Sampling Efluen Air Lindi (Titik 4) .....	<b>31</b>
<b>Gambar 4.5</b>	Denah Kolam Lindi TPA Gampong Jawa Banda Aceh .....	<b>31</b>
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Jumlah .....	<b>32</b>
<b>Gambar 4.7</b>	Bentuk Mikroplastik: A. Fragmen; B. Film; C. Pellet, dan; D. Fiber .....	<b>37</b>
<b>Gambar 4.8</b>	Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Bentuk .....	<b>36</b>
<b>Gambar 4.9</b>	Proporsi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk pada Lokasi .....	<b>36</b>
<b>Gambar 4.10</b>	Komposisi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air Lindi .....	<b>39</b>
<b>Gambar 4.11</b>	Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Warna pada Lokasi Sampling .....	<b>41</b>
<b>Gambar 4.12</b>	Komposisi Mikroplastik Berdasarkan Warna pada Sampel Air Lindi .....	<b>41</b>
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik Hasil Analisis FTIR Pada Sampel Air Lindi .....	<b>44</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Klasifikasi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk .....	<b>7</b>
<b>Tabel 2.2</b>	Densitas Polimer Plastik dan Penggunaannya .....	<b>11</b>
<b>Tabel 2.3</b>	Referensi Serapan Panjang Gelombang Tiap Jenis Polimer .....	<b>15</b>
<b>Tabel 2.4</b>	Penelitian Terdahulu Terkait Mikroplastik di TPA.....	<b>18</b>
<b>Tabel 3.1</b>	Lokasi Pengambilan Sampel .....	<b>21</b>
<b>Tabel 3.2</b>	Alat dan Bahan Analisis Sampel.....	<b>24</b>
<b>Tabel 4.1</b>	Rata-Rata Kelimpahan Mikroplastik Setiap Lokasi Sampling .....	<b>33</b>
<b>Tabel 4.2</b>	Jumlah Mikroplastik Berdasarkan Warna pada Sampel Air Lindi	<b>40</b>
<b>Tabel 4.3</b>	Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Warna pada Sampel Air Lindi .....	<b>41</b>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Produksi plastik meningkat secara substansial sejak pengoperasian industri dimulai pada awal 1950-an. Keceragaman, stabilitas, bobot yang ringan, dan biaya produksi yang rendah telah memicu permintaan global (Hale dkk., 2018). Fakta ini telah menciptakan masalah pengelolaan sampah kota menjadi semakin kompleks akibat limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Di negara-negara berkembang, sampah plastik telah menjadi masalah sampah utama karena kurangnya sistem pengumpulan dan daur ulang yang relatif rendah (Nizar dkk., 2021). Berdasarkan data hasil survei oleh Jambeck dkk. (2015), Indonesia dinobatkan sebagai negara penyumbang limbah plastik terbesar kedua di dunia sebesar 187,2 juta ton dan di antara sampah tersebut sebagian terbuang ke laut. Secara global, Indonesia menyumbang 10,1% sampah plastik yang tidak dikelola. Menurut *World Economic Forum* (2020) dalam Utami & Liani (2021), produksi sampah plastik di Indonesia mengalami peningkatan sebanyak 5% setiap tahunnya berkisar 6,8 juta ton per tahun. Fenomena ini berpotensi menyebabkan kerugian bagi lingkungan baik darat, air maupun udara apabila tidak diimbangi dengan pengelolaan limbah yang tepat. Produk plastik akan terdegradasi perlahan seiring waktu, terutama saat terkena sinar matahari (radiasi ultraviolet) dan suhu tinggi. Degradasi ini akan menyebabkan pemecahan material menjadi ukuran yang lebih kecil mulai dari makroskopis hingga mikroskopis (Lusher dkk., 2017).

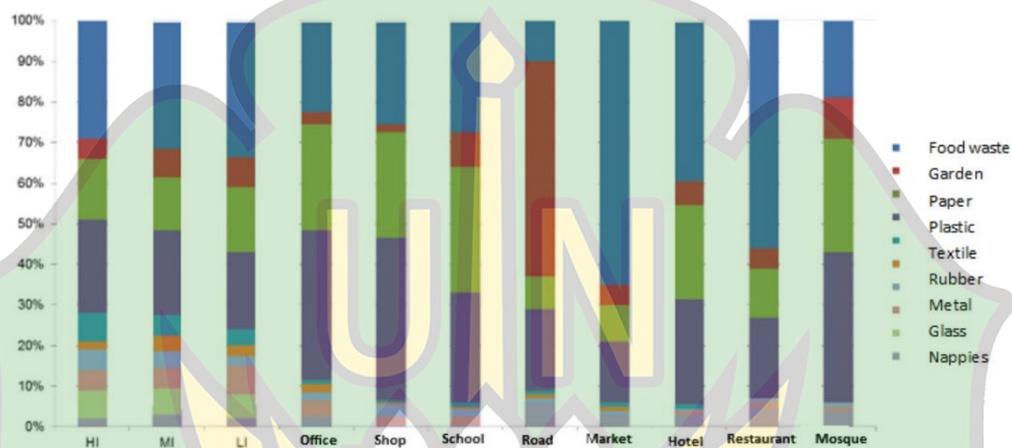
Mikroplastik adalah partikel plastik yang mengalami degradasi menjadi bagian-bagian kecil berukuran  $< 5$  mm. Mikroplastik yang teridentifikasi dapat berasal dari sumber primer dan sumber sekunder. Sumber primer adalah partikel plastik kecil yang sengaja dibentuk atau diproduksi, seperti dalam pembuatan dan industri polimer, serta tekstil untuk serat sintetis. Sementara itu, sumber sekunder berasal dari kerusakan plastik akibat proses degradasi fisik, kimia, dan biologis (Nurhasanah dkk., 2021). Sumber mikroplastik dapat berasal dari limbah domestik, industri, perdagangan, dan tempat pemrosesan akhir (TPA).

Mikroplastik di TPA terbentuk dari proses degradasi makroplastik yang tertimbun. Dimana, plastik tersebut mengalami biodegradasi aerobik dilanjutkan proses transisi ke anaerobik yang dibantu oleh pembentukan asam dan gas metana dari limbah organik. Bahkan tanpa adanya cahaya dan oksigen, makroplastik akan terus mengalami fragmentasi menjadi mikroplastik karena fluktuasi suhu (60 - 90°C) dan pH (4,5 - 9), stres fisik dan pemadatan, serta aktivitas mikroba meskipun dalam jumlah terbatas (Silva dkk., 2021). Masalah utama mikroplastik adalah memiliki kemampuan menjadi media transfer polutan berbahaya dalam jumlah besar seperti PBT (*Persistent, Bioaccumulative and Toxic*), POP (*Persistent Organic Pollutants*), logam, obat-obatan dan organisme berbahaya. Akibatnya, mikroplastik berpotensi menyebabkan kerusakan jaringan, gangguan aktivitas reproduksi, penurunan sistem imun dan kematian biota akibat senyawa kimia yang terkandung di dalamnya (Ayuningtyas dkk., 2019; Poerio dkk., 2019; Yona dkk., 2021).

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) mengambil peran menjadi salah satu sumber pencemar potensial. Menurut He dkk. (2019), pelepasan air lindi dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) ikut berperan sebagai salah satu sumber yang memberikan kontribusi mikroplastik ke lingkungan. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sampel air lindi mengandung mikroplastik. Utami & Agustina (2022), menyatakan bahwa mikroplastik ditemukan pada seluruh sampel air lindi yang berasal dari bak *inlet* dan bak *outlet* pengolahan lindi di TPA Piyungan. Kelimpahan tertinggi ditemukan pada air lindi di kolam *inlet* yaitu sebesar  $154,80 \pm 21,22$  partikel/L. Jenis polimer yang teridentifikasi adalah Polistirena (PS), Polietilen (PE), dan Polivinil Klorida (PVC).

Lokasi pengambilan sampel berada di TPA Gampong Jawa yang merupakan Tempat Pemrosesan Akhir sampah untuk layanan kota Banda Aceh dengan total luas lahan sebesar 21 Ha yang berlokasi di desa Gampong Jawa Kecamatan Kuta Alam Kota Banda Aceh. TPA Gampong Jawa dibangun pada tahun 1994 dan sempat mengalami kehancuran saat bencana gempa bumi dan tsunami tahun 2004. TPA Gampong Jawa direhabilitasi dengan menerapkan sistem *controlled landfill* pada tahun 2009 (Nizar dkk., 2021). Namun, TPA Gampong Jawa telah difungsikan sebagai stasiun perpindahan pasca

pengoperasian TPA Regional Blang Bintang. Pengalihan ini disebabkan TPA Gampong Jawa sudah melebihi kapasitas penampungan untuk sampah kota. Timbulan sampah Kota Banda Aceh sebanyak 235 ton/hari dan terdapat 32,4 ton/hari sampah yang masuk dari Aceh Besar (DLHK3 Banda Aceh, 2018). Di antara sampah tersebut termasuk sampah organik, sampah plastik, sampah kebun, kertas, limbah tekstil, karet, logam, kaca dan popok. Sampah plastik berada pada urutan kedua sampah terbanyak setelah limbah organik di kota Banda Aceh seperti yang terlihat pada Gambar 1.1 di bawah ini.



**Gambar 1.1** Persentase dan Komposisi Sampah di Banda Aceh

Hi: Rumah tangga berpenghasilan tinggi, Mi: Rumah tangga berpenghasilan menengah, Li: Rumah tangga berpenghasilan rendah.

(Sumber: Nizar dkk., 2021)

Secara geologis, TPA Gampong Jawa berada di dekat muara sungai krueng Aceh. Dimana, air lindi yang dihasilkan oleh TPA Gampong Jawa dialirkan ke kolam lindi dekat *landfill* kemudian masuk ke saluran drainase yang mengalir ke Sungai Krueng Aceh dan berakhir di lautan.

Strategi pengelolaan sampah yang tepat diperlukan untuk mengurangi dampak pencemaran plastik dan mikroplastik di wilayah perairan serta menekan angka timbulan sampah di TPA mengingat kontaminasi mikroplastik semakin meningkat di masa mendatang akibat dari fragmentasi buangan plastik di masa lalu dan saat ini, sementara lahan TPA terbatas. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengembangkan dan menerapkan strategi mitigasi adalah dengan metode 3R (*reuse, reduce, recycle*), meningkatkan teknologi pengolahan limbah menjadi energi (*waste to energy*), melakukan kampanye untuk mengubah perilaku

konsumen terutama mengarah pada plastik sekali pakai dan menerapkan teknologi pemisahan mikroplastik (Silva dkk., 2021).

Atas dasar permasalahan yang telah diuraikan di atas, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan mikroplastik pada air lindi di TPA Gampong Jawa menimbang bahaya yang diberikan mikroplastik bagi lingkungan dan makhluk hidup. Data kelimpahan mikroplastik dapat digunakan pemerintah untuk mengatur peraturan yang lebih tegas terkait pengendalian pencemaran plastik dan mengambil tindakan awal penanggulangan pencemaran plastik. Oleh karena itu, penulis memilih judul sebagai Tugas Akhir: “Analisis Kelimpahan Mikroplastik Pada Air Lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gampong Jawa Banda Aceh”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana hasil analisis kelimpahan mikroplastik berdasarkan jumlah bentuk dan warna di TPA Gampong Jawa?
2. Apa saja jenis polimer dari mikroplastik di TPA Gampong Jawa?
3. Bagaimana upaya penanggulangan yang dapat dilakukan untuk mengendalikan pencemaran mikroplastik di TPA Gampong Jawa?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian adalah:

1. Menganalisis kelimpahan mikroplastik berdasarkan bentuk dan warna pada air lindi dan efluen air lindi TPA Gampong Jawa.
2. Mengidentifikasi jenis polimer mikroplastik di TPA Gampong Jawa.
3. Memahami upaya penanggulangan pencemaran mikroplastik di TPA Gampong Jawa.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat Penelitian adalah:

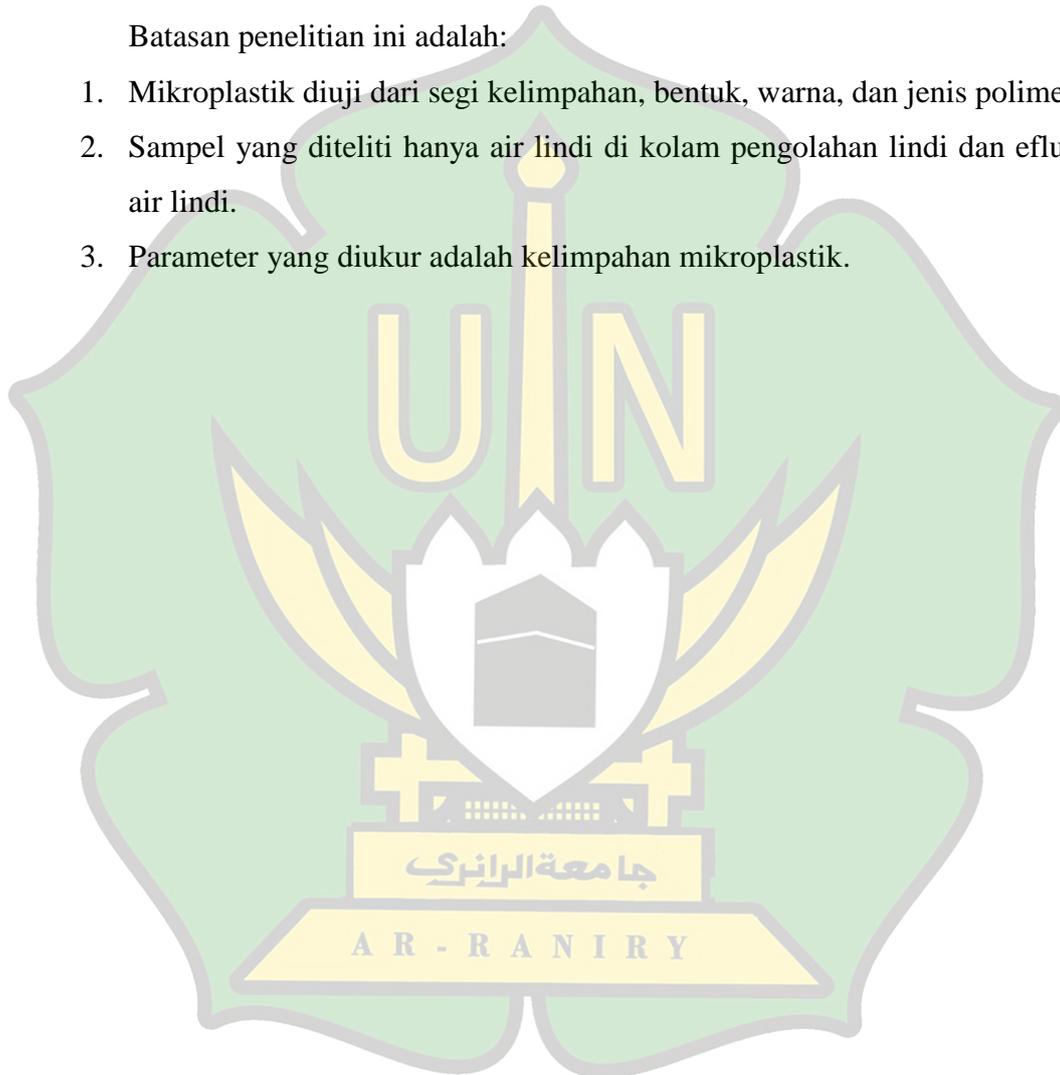
1. Bagi pemerintah, tugas akhir ini dapat memberikan informasi mengenai kelimpahan mikroplastik. Informasi ini diharapkan dapat digunakan oleh pemerintah dan instansi terkait dalam upaya pengelolaan sampah plastik secara optimal.

2. Bagi masyarakat, tugas akhir ini memberikan informasi dan memperkaya pengetahuan terkait ancaman mikroplastik.
3. Bagi akademisi, tugas akhir ini berguna memperluas pemahaman tentang kelimpahan mikroplastik, jenis dan tipe polimer serta dapat dijadikan acuan penelitian lanjutan.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian ini adalah:

1. Mikroplastik diuji dari segi kelimpahan, bentuk, warna, dan jenis polimer.
2. Sampel yang diteliti hanya air lindi di kolam pengolahan lindi dan efluen air lindi.
3. Parameter yang diukur adalah kelimpahan mikroplastik.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Plastik**

Plastik adalah polimer sintetik yang dihasilkan oleh proses kondensasi organik atau penambahan polimer dan dapat pula tersusun dari zat lain untuk meningkatkan nilai guna. Plastik terbagi menjadi 3 (tiga) kategori yaitu termoplastik, termosets, dan elastomer. Termoplastik adalah plastik yang tahan terhadap perubahan suhu, bersifat *reversibel*, dan meleleh pada suhu tertentu. Termoplastik dapat kembali mengeras setelah mengalami proses pemanasan, contohnya polietilen (PE), polipropilen (PP), polietrafloro-etilen, poliamid (PA), polivinil klorid (PVC), dan polistiren (PS). Termosets tidak dapat melunak setelah dibentuk, contohnya resin epoksi, poliuretan (PU), resin polyester, dan bakalit. Elastomer adalah polimer elastis yang mampu kembali ke bentuk semula setelah ditarik (Warlina, 2019; Widianarko & Hartono, 2018). Plastik memiliki fleksibilitas tinggi dan menjadi material utama dalam kemasan, bangunan, transportasi, peralatan medis dan sebagainya. Di samping manfaatnya yang besar, plastik membutuhkan waktu > 10 tahun untuk mendegradasi sehingga limbah plastik semakin lama akan terakumulasi dan menyebabkan kerusakan lingkungan.

#### **2.2 Mikroplastik**

Mikroplastik adalah polutan baru yang pertama kali diidentifikasi keberadaannya pada tahun 1970 dan telah dideteksi secara luas di lingkungan laut, darat, dan udara. Mikroplastik berupa partikel kecil bagian dari sampah plastik yang terbentuk dari proses fragmentasi plastik yang memiliki berbagai bentuk dan berukuran kurang dari 5 mm. (Widianarko & Hantoro, 2018). Batas minimum ukuran partikel mikroplastik belum didefinisikan secara pasti, namun sebagian besar penelitian mengambil batas minimum ukuran mikroplastik 300  $\mu\text{m}$  (Mauludy dkk., 2019). Ukurannya yang kecil dan melimpah membuat mikroplastik menjadi polutan yang paling banyak ditemukan di perairan sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada ekosistem perairan (Yona dkk., 2021).

Adapun faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kandungan mikroplastik di TPA adalah sebagai berikut (Hariyanti, 2021):

1) Peningkatan sampah plastik yang masuk ke TPA

Semakin banyak plastik yang masuk ke TPA maka kandungan mikroplastik yang ditemukan juga akan semakin banyak.

2) Proses fragmentasi atau degradasi mikroplastik di TPA

Sampah plastik dapat terdegradasi oleh sinar UV, suhu, abrasi fisik, dan mikroba menjadi serpihan plastik. Proses degradasi mikroplastik dipercepat dengan adanya bakteri yang diisolasi di TPA.

3) Curah hujan

Curah hujan yang tinggi akan membuat distribusi mikroplastik ke lingkungan semakin tinggi karena debit hujan yang meningkat.

4) Jumlah bahan organik dalam air lindi

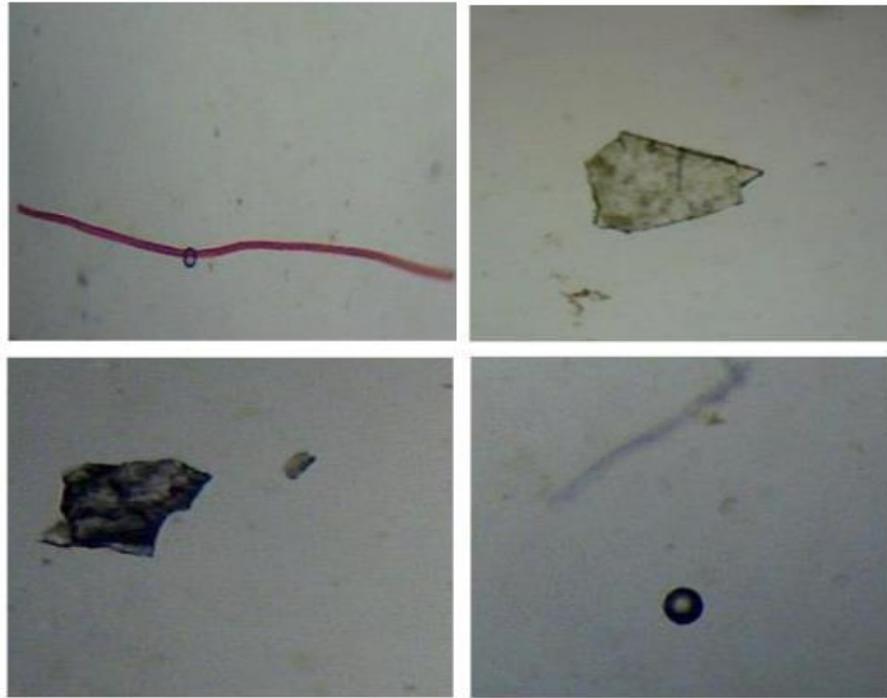
Banyaknya bahan organik yang terkandung dalam air lindi berkontribusi dalam meningkatkan PAH, DINP, dan DEHP phthalate di air yang dikenal sebagai kelarutan air rendah.

### 2.2.1 Morfologi Mikroplastik

Secara umum, berdasarkan morfologi mikroplastik dibagi menjadi 3 (tiga) kategori yaitu, bentuk, ukuran, dan warna. Berdasarkan bentuk mikroplastik teridentifikasi memiliki beragam jenis diantaranya film, *beads*, fiber, fragmen, pellet, dan *foam*. Contoh morfologi mikroplastik dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.1.

**Tabel 2.1** Klasifikasi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk

Bentuk	Deskripsi	Sumber
Fragmen	Partikel tidak beraturan, kristal, granula, potongan, serpihan	Botol
<i>Foam</i>	Polistiren	<i>Styrofoam</i>
<i>Film</i>	Lembaran	Kemasan plastik, kain
Pellet	Manik-manik resin	Resin, <i>scrubber</i>
<i>Fiber</i>	Serat, serabut	Tali pancing, tekstil



**Gambar 2.1** Bentuk mikroplastik: A. Fiber, B. Film, C. Fragmen, dan D. Granula.

(Sumber: Utami & Agustina, 2022).

Fragmen adalah partikel plastik yang memiliki ketebalan dan bentuk tidak beraturan dengan ujung-ujung tajam. Jenis ini biasanya berasal dari pecahan botol plastik dengan jenis polimer didominasi oleh polietilen dan polipropilen (Yona dkk., 2021). Mikroplastik fragmen sering ditemukan dalam jumlah yang lebih banyak daripada jenis lainnya disebabkan oleh penggunaan produk plastik yang memiliki polimer kuat relatif besar, sehingga apabila terjadi perubahan melalui proses fotolisis, fisik, termodegradasi maupun termooksidasi dapat meningkatkan jumlah mikroplastik (Putro, 2021).

*Foam* sebagian besar berasal dari pecahan *styrofoam* yang dibuat dari polimer polistiren. Jenis mikroplastik ini mudah diidentifikasi dari bentuknya yang ringan dan berpori. Dalam kehidupan sehari-hari penggunaan *styrofoam* banyak digunakan sebagai wadah makanan, peralatan perikanan, dan sebagainya (Yona dkk., 2021).

Film merupakan jenis mikroplastik berupa lembaran tipis dan fleksibel yang berasal dari fragmentasi plastik-plastik kemasan dan pembungkus. Jenis ini biasanya dihasilkan dari polimer polietilen, polipropilen dan polivinil klorida

(PVC) (Yona dkk., 2021). Mikroplastik jenis film memiliki densitas lebih rendah dari jenis mikroplastik lainnya disebabkan polimer plastik sekunder jenisnya berasal dari fragmentasi kantong plastik atau plastik kemasan (Haryanti, 2021).

Pellet memiliki bentuk seperti bola dengan ukuran yang sangat kecil bersumber dari aktivitas industri atau produk kecantikan yang mengandung *microbeads* berupa *scrub* (Yona dkk., 2021).

*Fiber* adalah partikel plastik menyerupai tali memanjang atau garis seperti serat dengan ketebalan yang hampir sama disepanjang penampangnya. Pada umumnya, jenis ini berasal dari fragmentasi jaring sebagai alat tangkap dan limbah tekstil. Fiber terbentuk dari polimer jenis polietilen, nilon atau *acrylic fiber* yang apabila terkena lampu ultraviolet akan berwarna biru. Fiber juga menjadi jenis mikroplastik yang dominan di perairan karena banyaknya aktivitas manusia yang menghasilkan residu berupa benang (Azizah dkk., 2020; Yona dkk., 2021).

### 2.2.2 Sumber Mikroplastik

Mikroplastik diduga berasal dari berbagai sumber dan berbagai rute penyebaran. Sumber utama berasal dari produk industri dan domestik meliputi kosmetik, toilet, *scrubber* yang digunakan untuk mencuci, bubuk, dan lain-lain (Basri, 2021).

Berdasarkan sumber mikroplastik dapat diklasifikasikan sebagai mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder (Haryanti, 2021).

#### 1. Mikroplastik Primer

Mikroplastik dari sumber primer adalah plastik yang dibuat dengan ukuran mikroskopis, seperti *microbeads* yang terkandung dalam produk-produk kosmetik, perawatan kulit (*skin care*) berupa *scrubber*, produk pembersih, bubuk resin, dan lain-lain. Mikroplastik yang masuk wilayah perairan melalui saluran limbah domestik, umumnya mencakup polietilen, polipropilen, dan polistiren.

#### 2. Mikroplastik Sekunder

Mikroplastik dari sumber sekunder merupakan pecahan atau hasil akibat fragmentasi plastik berukuran besar menjadi kecil, baik di air maupun di darat. Fragmentasi plastik merupakan perubahan bentuk, ukuran, dan

warna plastik oleh proses fisika, kimiawi, biologis. Paparan sinar matahari juga mengambil peran penyebab fragmen plastik menjadi lebih kecil dari waktu ke waktu menjadi mikroplastik. Mikroplastik sekunder dapat berasal dari pelapukan produk plastik, bahan baku industri, alat rumah tangga, dan serat sintesis dari cucian pakaian. Sumber ini memiliki waktu tinggal yang relatif lebih lama di wilayah perairan, baik di perairan alami ataupun buatan. Menurut Su dkk. (2019), mikroplastik sekunder seperti limbah rumah tangga dan dari industri banyak ditemukan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).

### **2.2.3 Degradabilitas Mikroplastik**

Secara umum, pelapukan terjadi terutama pada polimer yang digunakan pada aplikasi luar ruangan saat terkena kondisi suhu tinggi, radiasi UV dan oksigen. Oleh karena itu, untuk memperoleh ketahanan terhadap dampak lingkungan seperti cahaya, panas dan oksigen, zat penstabil digunakan sebagai aditif di hampir semua polimer. Akibatnya, biodegradasi alami plastik yang lengkap adalah proses yang sangat lambat karena plastik yang biasa digunakan tidak secara khusus dirancang untuk terdegradasi secara alami di lingkungan tetapi sebaliknya bertahan. Degradasi plastik diketahui memakan waktu setidaknya 20 tahun di lingkungan TPA. Karena degradasi termo-oksidatif adalah mekanisme umum degradasi di TPA, ketersediaan oksigen yang terbatas menghambat proses tersebut. Namun, keadaan TPA lainnya seperti peningkatan suhu, pH, dan pepadatan fisik merupakan faktor yang berkontribusi terhadap degradasi plastik yang lebih cepat (Kilponen, 2016).

Pada saat benda plastik telah terfragmentasi menjadi partikel yang lebih kecil mungkin telah mengalami beberapa mekanisme degradasi yang berbeda. Tergantung pada keadaan, mekanisme degradasi yang berbeda dapat terjadi secara bersamaan, dan oleh karena itu sangat mempengaruhi laju degradasi. Dalam kasus polimer umum, degradasi alami umumnya dimulai dengan fotodegradasi yang mengarah ke degradasi termo-oksidatif. Partikel rapuh yang dihasilkan terus terfragmentasi hingga massa molekul partikel cukup rendah untuk dimetabolisme oleh mikroorganisme. Dalam hidrolisis lingkungan laut tidak dianggap sebagai mekanisme degradasi yang signifikan. Bahkan, telah ditunjukkan bahwa proses

degradasi air laut lebih lambat dibandingkan dengan lingkungan darat (Kilponen, 2016).

#### 2.2.4 Bioakumulasi Mikroplastik

Bioakumulasi adalah proses dimana zat kimia mempengaruhi makhluk hidup. Proses ini ditandai dengan peningkatan konsentrasi zat kimia dalam tubuh organisme dibandingkan dengan konsentrasi bahan kimia ini di lingkungan (Ihsan, 2021). Keberadaan mikroplastik yang mengapung saat berada di air bergantung pada densitas polimernya. Daya apung mikroplastik menentukan posisi mikroplastik dan interaksinya dengan biota. Di sepanjang perairan mikroplastik akan mengalami *biofouling* secara bertahap dimana organisme menempel pada pencemar dan tenggelam karena bertambahnya massa jenis dan dari materialnya. Mikroplastik mengubah kerapatan partikelnya melalui proses penguraian, fragmentasi dan melepas bahan perekat sehingga terdistribusi antara permukaan dan dasar perairan (Widianarko & Hantoro, 2018). Beberapa jenis polimer berdasarkan spesifik gravitasi dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Densitas Polimer Plastik dan Penggunaannya

Jenis Plastik	Penggunaan	Spesifik Gravitasi
<i>Polyethylene (PE)</i>	Kantong plastik, wadah penyimpanan	0,91 – 0,95
<i>Polypropylene (PP)</i>	Tali, tutup botol, kemasan, alat pancing, pengikat	0,90 – 0,92
<i>Polystyrene (Luas)</i>	Kotak pendingin, pelampung, gelas	1,01 – 1,05
<i>Polystyrene</i>	Wadah, peralatan	1,04 – 1,09
<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	Pipa, kontainer, tirai toilet	1,16 – 1,30
<i>Polyamide (Nilon)</i>	Tali, jala ikan	1,13 – 1,15
<i>Polyethylene Terephthalate</i>	Botol, pengikat, tekstil	1,34 – 1,39
Resin Poliester + serat kaca	Tekstil, pelampung	> 1,35
Asetat Selulosa	Filter rokok	1,22 – 1,24
Air Jernih		1
Air Laut		1,027

(Sumber: Widianarko & Hantoro, 2018)

### 2.2.5 Dampak Mikroplastik

Mikroplastik mengandung kontaminan organik yang di dalamnya termasuk *polybrominated diphenylethers*, *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH), *organochlorine pesticides*, *polychlorinated biphenyl* (PCBs), *petroleum hydrocarbon*, *bisphenol*, dan *alkylphenol* yang dapat mengakibatkan efek kronis bagi biota seperti gangguan endokrin (Putro, 2021). Mikroplastik dapat berperan sebagai patogen yang dapat membawa mikroba ke perairan. Mikroplastik yang telah mengkontaminasi biota di berbagai tingkat trofik menimbulkan kekhawatiran bahwa bahan kimia yang teradopsi dapat terakumulasi di tingkat trofik yang lebih rendah. Selanjutnya, apabila organisme pada tingkat trofik lebih rendah dikonsumsi, biomagnifikasi dapat terjadi pada tingkat trofik yang lebih tinggi. Hal ini berpotensi mempengaruhi kesehatan manusia. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik telah ditemukan dalam tinja manusia dan mungkin terdapat dalam plasenta wanita hamil serta dalam darah manusia (Syachbudi, 2020).

Data dari studi belum memadai untuk menginformasikan penilaian risiko kesehatan manusia akibat mengonsumsi organisme air yang tertelan mikroplastik. Data saat ini memuat informasi tentang keracunan akibat partikel plastik, informasi terbatas pada beberapa studi yang menggunakan PET, PS atau PE. Mikroplastik dari tutup botol dan pellet plastik yang terdegradasi dapat tertelan oleh biota air lalu biota tersebut dikonsumsi oleh manusia yang berpotensi mengalami keracunan bahan kimia serta penyumbatan usus (Fajri, 2021).

## 2.3 Analisis Mikroplastik

### 2.3.1 Kelimpahan dan Karakterisasi Mikroplastik

Analisis mikroplastik yang dilakukan meliputi kelimpahan, karakteristik dan jenis polimer pembentuk mikroplastik. Kelimpahan mikroplastik dianalisis dengan metode gravimetri. Gravimetri adalah analisis berdasarkan proses isolasi dan pengukuran berat suatu senyawa tertentu. Karakterisasi mikroplastik berdasarkan warna dan bentuk menggunakan mikroskop perbesaran 10 kali. Berikut ini diuraikan mengenai analisis kelimpahan dan karakteristik mikroplastik.

### 1) Kelimpahan Mikroplastik

Adapun beberapa tahap dalam analisis gravimetri adalah sebagai berikut (Ihsan, 2021):

- Pemilihan pelarut sampel dipilih harus sesuai dengan sifat sampel yang akan dilarutkan.
- Pengendapan analit, dilakukan dengan memisahkan endapan dan supernatan. Endapan tersebut mengandung material yang densitasnya tinggi, sedangkan supernatan mengandung material yang densitasnya rendah yaitu mikroplastik.
- Penyaringan supernatan, dilakukan dengan bantuan saringan *fiber glass* atau selulosa dengan diameter 0,1 mm dan bantuan pompa vakum.
- Penimbangan supernatan, untuk mengetahui berat mikroplastik di dalam sampel.
- Menghitung jumlah mikroplastik ini untuk mengetahui jumlah mikroplastik di dalam sampel.

### 2) Analisis Bentuk Mikroplastik

Bentuk mikroplastik dapat diidentifikasi dengan menggunakan mikroskop perbesaran 10 kali. Berikut penjelasan mengenai bentuk mikroplastik (Ihsan, 2021):

- Fiber, memiliki bentuk memanjang yang berasal dari fragmentasi monofilamen jaring, tali, dan kain sintesis.
- Fragmen berasal dari potongan plastik dengan sifat polimer kuat ataupun yang lemah.
- Pellet berasal dari sumber primer yang langsung diproduksi oleh pabrik sebagai bahan baku pembuatan produk plastik.
- Benang berasal dari sumber sekunder berupa serpihan serat pakaian dan tali.

### 3) Analisis Warna Mikroplastik

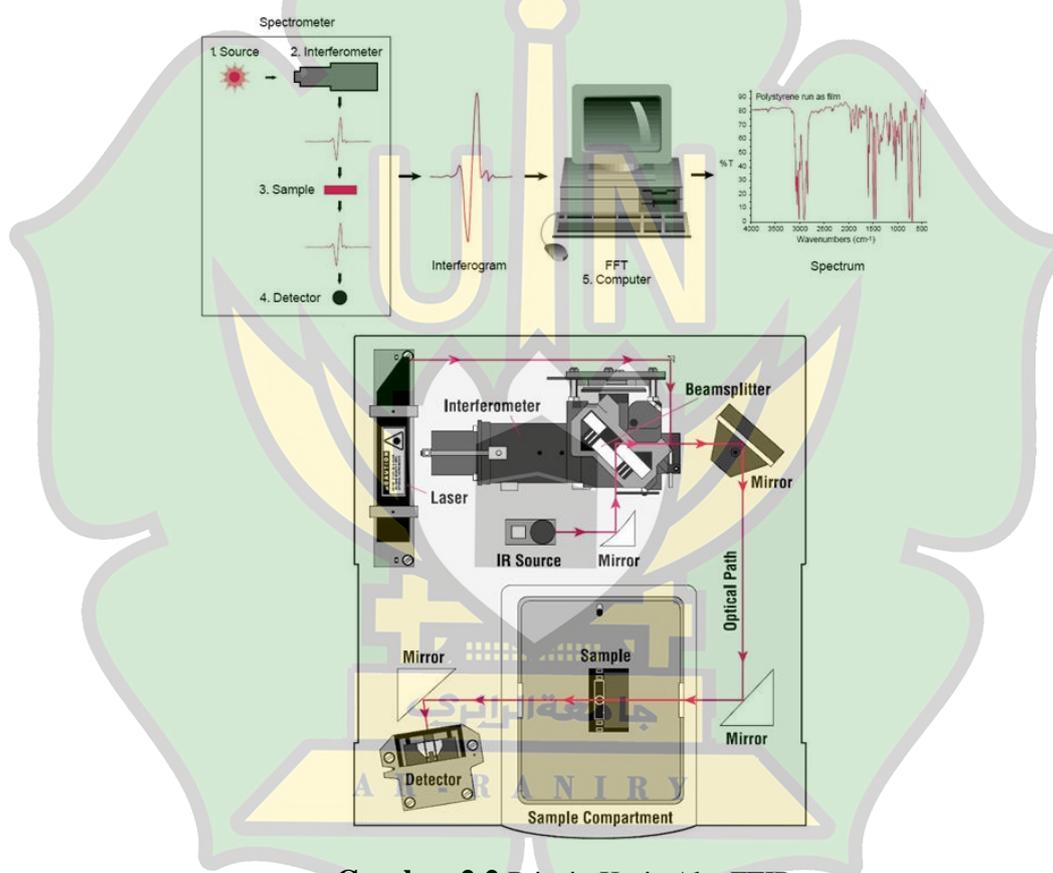
Warna mikroplastik dapat diidentifikasi dengan menggunakan mikroskop perbesaran 10 kali. Warna-warna yang dapat ditemukan dalam pengamatan mikroplastik adalah transparan, kristal, putih, merah, jingga, biru, hitam, abu-abu, coklat, hijau, merah muda, dan kuning (Ihsan, 2021).

### 2.3.2 Mikroskop Binokuler

Mikroskop adalah alat optik yang digunakan untuk melihat objek berukuran mikro yang mampu menghasilkan perbesaran hingga ratusan kali (Shofi & Humairoh, 2019).

### 2.3.3 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

FTIR merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk mengidentifikasi jenis polimer dari mikroplastik. Alat yang menentukan spektrum serapan suatu senyawa disebut spektrofotometer. Secara skematik komponen utama spektrofotometer FTIR sederhana diilustrasikan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Prinsip Kerja Alat FTIR

(Sumber: Belajar Kimia, 2019)

Instrumen menghasilkan sekelompok iradiasi IR yang dipancarkan dari sumber benda hitam bercahaya. Selanjutnya sinar melewati interferometer dimana proses pengkodean spektral berlangsung. Di interferometer terjadi rekombinasi balok dengan panjang jalur yang berbeda sehingga menciptakan interferensi konstruktif dan destruktif yang disebut interferogram. Sinar yang memasuki

kompartemen sampel menyerap frekuensi energi tertentu. Kemudian, detektor mengukur sinyal interferogram untuk semua frekuensi secara bersamaan. Sementara itu, balok dilapiskan untuk pengoperasian instrumen. Hasil spektrum yang diinginkan dapat diperoleh secara otomatis menggunakan program komputer transformasi *fourier* setelah melalui proses interferogram dengan mengurangi spektrum latar belakang dari spektrum sampel (Mohamed dkk., 2017).

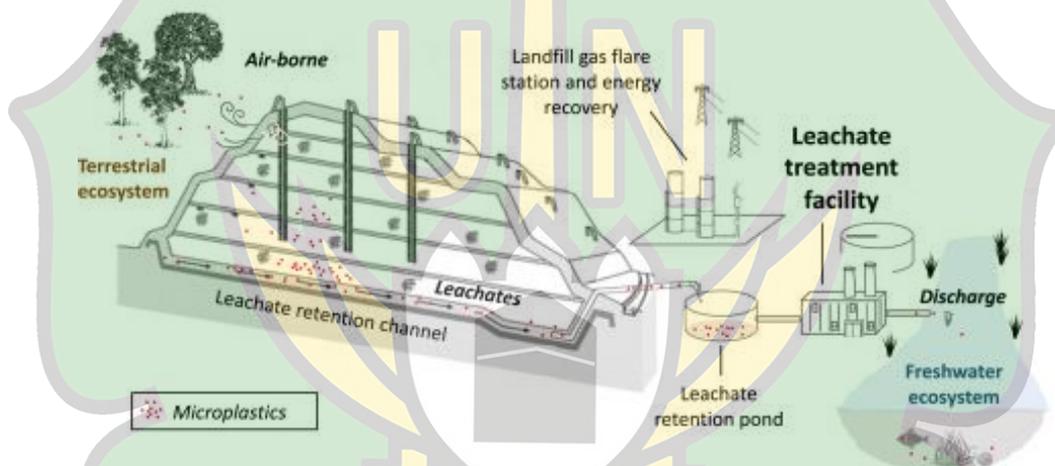
**Tabel 2.3** Referensi Serapan Panjang Gelombang Tiap Jenis Polimer

Jenis Polimer	Panjang Gelombang Terserap ( $\text{cm}^{-1}$ )	Gugus Fungsi
<i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	2915	C-H stretch
	1472	CH <sub>2</sub> bend
	717	CH <sub>2</sub> rock
<i>Low Density Polyethylene (LDPE)</i>	2845	C-H stretch
	1377	CH <sub>3</sub> bend
	717	CH <sub>2</sub> rock
<i>Polyethylene Terephthalate (PET) / (PETE)</i>	1713	C=O
	1241	C-O stretch
	720	Aromatic CH out-of-plane bend
<i>Polypropylene (PP)</i>	2950	C-H stretch
	1166	CH bend, CH <sub>3</sub> rock, C-C stretch
	808	CH <sub>2</sub> rock, C-C stretch, C-CH stretch
<i>Polystyrene (PS)</i>	3024	Aromatic C-H stretch
	1492	Aromatic ring stretch
	1027	Aromatic CH bend
<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	1427	CH <sub>2</sub> bend
	1331	CH bend
	616	CH <sub>2</sub> rock
<i>Polyurethane (PU)</i>	2865	C-H stretch
	1531	C-N stretch
	1223	C(=O)O stretch
<i>Nylon</i>	3298	N-H stretch
	1538	NH bend, C-N stretch
	687	NH bend, C=O bend
<i>Polycarbonate (PC)</i>	2966	CH stretch
	1409	Aromatic ring stretch
	828	Aromatic CH out-of-plane bend
<i>Selulosa Asetat (CA)</i>	1743	C=O stretch
	1308	CH <sub>3</sub> bend
	600	O-H bend

(Sumber: Jung dkk., 2018)

## 2.4 Pengolahan Air Lindi TPA Gampong Jawa

Tempat pemrosesan akhir menerima sejumlah besar limbah plastik dari sektor industri, rumah tangga, dan lumpur dari instalasi pengolahan air limbah. Karena hal tersebut, TPA bertindak sebagai wadah penampungan sampah plastik dari ukuran makro ke mikro. Sampah mengalami transformasi secara fisik, kimia, dan biologis yang menghasilkan air limbah berbahaya yang disebut lindi. Air lindi dari tempat pembuangan akhir mengandung polutan yang melimpah, termasuk logam berat dan kontaminan organik sehingga mikroplastik yang berpotensi terbawa oleh lindi dapat berperan sebagai vektor kontaminan lain dan memperburuk efek buruk pada lingkungan sekitar dengan buangan lindi (Su dkk., 2019).



**Gambar 2.3** Sumber Mikroplastik dari TPA

(Sumber: Su dkk., 2019)

Air lindi adalah air yang berasal dari rembesan tumpukan sampah dengan konsentrasi kandungan organik tinggi yang terbentuk dalam landfill. Air lindi dapat mencemari air tanah dan badan perairan penerima efluen lindi apabila tidak didukung dengan pengolahan yang tepat. Air lindi dapat didefinisikan sebagai limbah cair yang dihasilkan dari perkolasi air hujan yang melewati timbunan sampah itu sendiri (Fadzli, 2023).

Unit pengolahan air lindi TPA Gampong Jawa terdiri dari tiga (3) jenis proses pengolahan diantaranya sebagai berikut:

a) Kolam Anaerobik

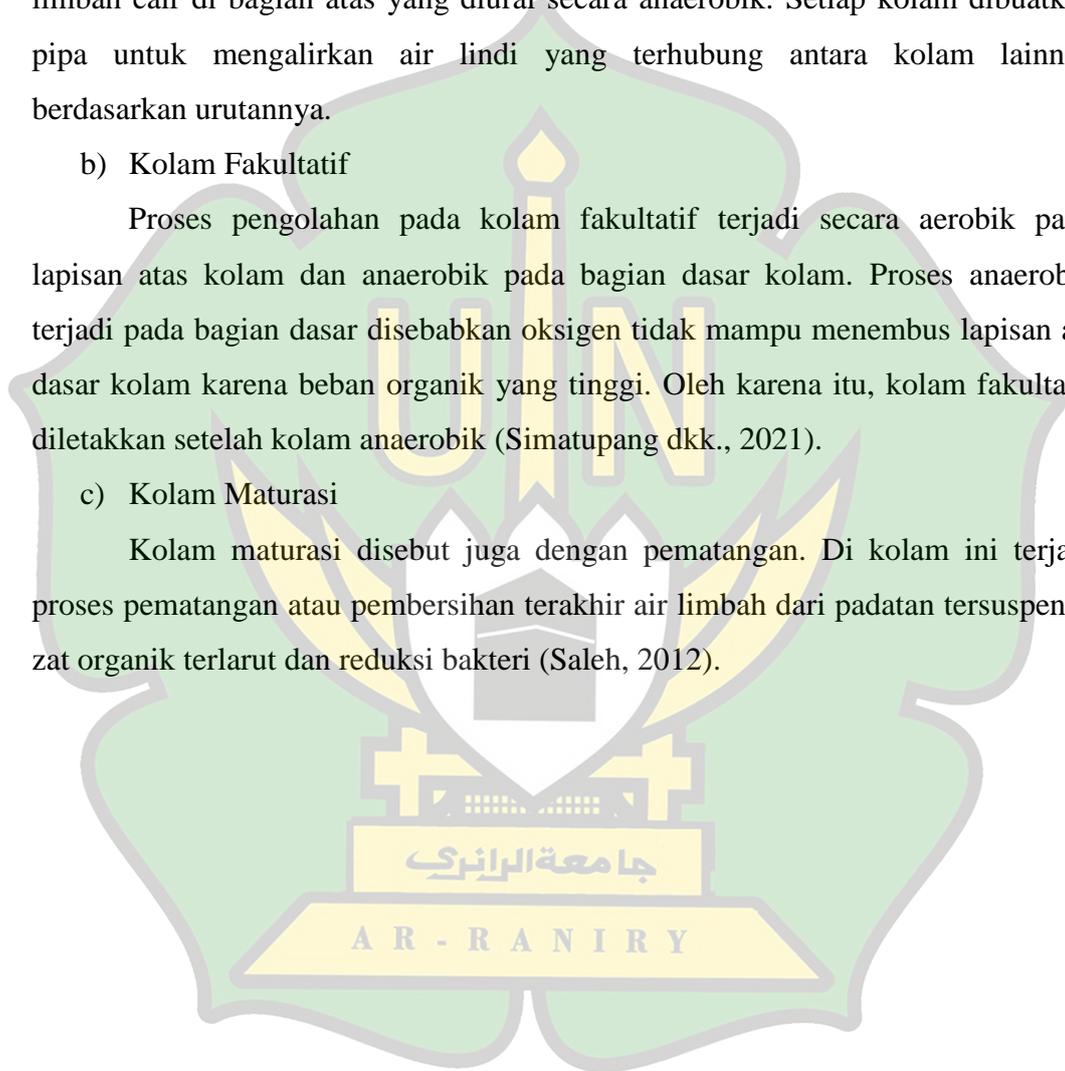
Air lindi dari TPA Gampong Jawa pertama sekali masuk ke pengolahan air lindi melalui ke kolam anaerobik. Kolam ini difungsikan untuk menerima beban organik yang cukup tinggi produksi langsung dari TPA. Jenis kolam ini sangat efektif digunakan untuk mengolah limbah yang kadar yang tinggi. Metode ini bekerja dengan cara mengendapkan limbah padat ke dasar kolam dengan limbah cair di bagian atas yang diurai secara anaerobik. Setiap kolam dibuatkan pipa untuk mengalirkan air lindi yang terhubung antara kolam lainnya berdasarkan urutannya.

b) Kolam Fakultatif

Proses pengolahan pada kolam fakultatif terjadi secara aerobik pada lapisan atas kolam dan anaerobik pada bagian dasar kolam. Proses anaerobik terjadi pada bagian dasar disebabkan oksigen tidak mampu menembus lapisan air dasar kolam karena beban organik yang tinggi. Oleh karena itu, kolam fakultatif diletakkan setelah kolam anaerobik (Simatupang dkk., 2021).

c) Kolam Maturasi

Kolam maturasi disebut juga dengan pematangan. Di kolam ini terjadi proses pematangan atau pembersihan terakhir air limbah dari padatan tersuspensi, zat organik terlarut dan reduksi bakteri (Saleh, 2012).



## 2.5 Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan hasil penelitian-penelitian sebelumnya mengenai mikroplastik sebagai acuan penelitian yang akan dilakukan.

**Tabel 2.4** Penelitian Terdahulu Terkait Mikroplastik di TPA

No.	Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
1.	Inggita U & Agustina (2022)	Deteksi Pencemaran Mikroplastik Pada Air Lindi di TPA Piyungan Yogyakarta Indonesia.	Mikroplastik teridentifikasi pada seluruh sampel air lindi yang berasal dari bak <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> . Kelimpahan tertinggi berada pada air lindi bak <i>inlet</i> sebesar 154,80 kurang lebih 21,22 partikel/l. Jenis polimer Polistirena (PS), Polietilen (PE) dan Polivinil Klorida (PVC).
2.	Nurhasanah, Cordova M R. & Riani E. (2021)	<i>Micro- and Mesoplastics Release from The Indonesian Municipal Solid Waste Landfill Leachate to The Aquatic Environment: Case Study in Galuga Landfill Area, Indonesia</i>	Mikro dan mesoplastik diidentifikasi di semua sampel air permukaan dari influen lindi dan limbah TPA Galuga. Pelepasan harian rata-rata ke lingkungan perairan diperkirakan 80.640 ± 604,80 mikroplastik dan 618.240 ± 1905,45 partikel mesoplastik, masing-masing. Jumlah mikroplastik meningkat tiga kali lipat dan sembilan kali lipat untuk mesoplastik setelah input dari saluran lindi. Komposisi kimia utama mikro dan mesoplastik adalah polietilen, polipropilen, polistirena, polietilen tereftalat, poliester, dan selofan. Penelitian ini menyiratkan bahwa lindi dapat menyebabkan kontaminasi mikro dan mesoplastik ke lingkungan perairan.
3.	Yinglong Su, Zhongjian Z., Dong W., Lu Z., Huahong S. & Bing X (2019)	<i>Occurrence of Microplastics in Landfill Systems and Their Fate with Landfill Age</i>	Hasil identifikasi komposisi polimer dengan FTIR menunjukkan jenis polimer yang terdeteksi diantaranya cellophane, polipropilen (PP), polietilen (PE), etilen-propilen copolymer (EPM), polietilen terephthalate (PET), polivinil klorida (PVC), poliamida (PA), polistiren (PS), dan polimer lainnya. Secara keseluruhan, lebih dari 9 dan 15 jenis polimer yang berbeda diidentifikasi dalam lindi dan sampah hampir semua jenis polimer umum (termasuk termoplastik dan termoset) terdeteksi di TPA. Di antara mikroplastik yang teridentifikasi dalam sampel lindi, kelas dominan mikroplastik terdeteksi sebagai plastik (45,12%), diikuti oleh PE, PP dan PS, yang masing-masing menyumbang 9,76%, 8,54% dan 8,54%.

## **BAB III**

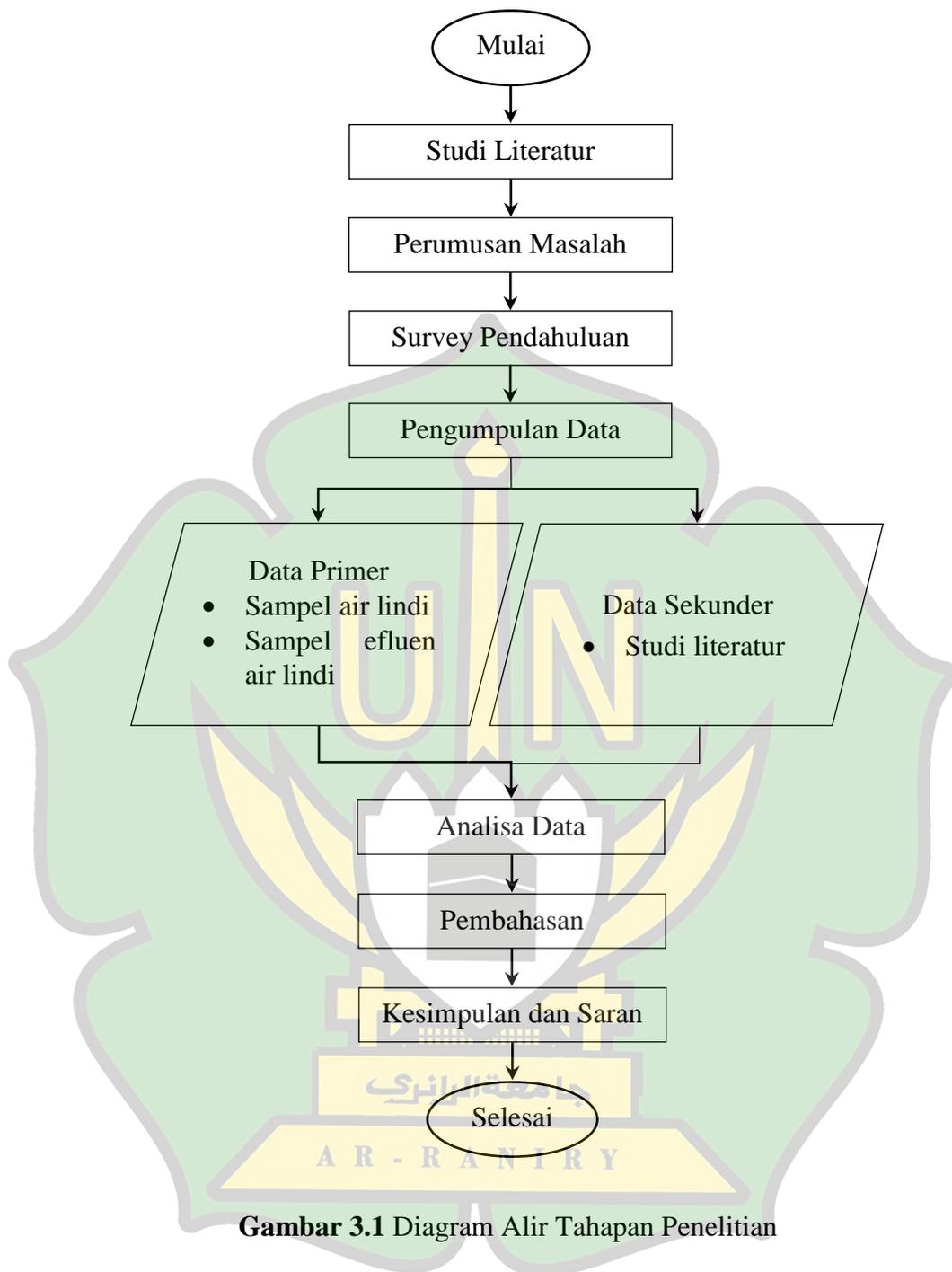
### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tahapan Umum Penelitian**

Penelitian ini melalui beberapa tahapan, antara lain:

1. Studi literatur, bertujuan untuk mempelajari dasar teori mengenai penelitian yang akan dilaksanakan. Sumber literatur yang digunakan berasal dari buku, jurnal, dan penelitian terdahulu yang relevan dengan tugas akhir.
2. Survei pendahuluan, dilakukan sebagai observasi awal dengan meninjau lokasi dan menentukan titik sampling.
3. Pengumpulan data, merupakan tahapan untuk mengumpulkan data-data dan memperoleh informasi yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan penelitian.
4. Analisa data, dilakukan untuk mengolah data menjadi informasi penting yang dapat dijadikan dasar dalam pengambilan kesimpulan.
5. Pembahasan, memberikan penjelasan dan menginterpretasikan hasil penelitian yang telah dianalisa guna menjawab rumusan masalah.
6. Kesimpulan dan saran, yaitu penarikan kesimpulan berdasarkan hasil pengolahan data dan mengusulkan saran yang dapat digunakan sebagai acuan pada penelitian selanjutnya.

Diagram alir tahapan penelitian digunakan untuk memberikan gambaran langkah-langkah kegiatan yang akan dilakukan selama proses penelitian. Adapun diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Tahapan Penelitian

### 3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama satu (1) bulan yaitu di bulan Juli tahun 2023. Pengambilan sampel dilaksanakan di TPA Gampong Jawa, Gampong Jawa, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh. Sampel yang akan diambil adalah sampel air lindi dan efluen air lindi yang berlokasi di TPA Gampong Jawa. Sampel air lindi dan efluennya di ambil masing-masing 1 sampel pada semua jenis unit kolam pengolahan lindi. Pengolahan air lindi di TPA Gampong Jawa terdiri dari 3 macam proses pengolahan yang berbeda seperti pada Gambar 3.2.

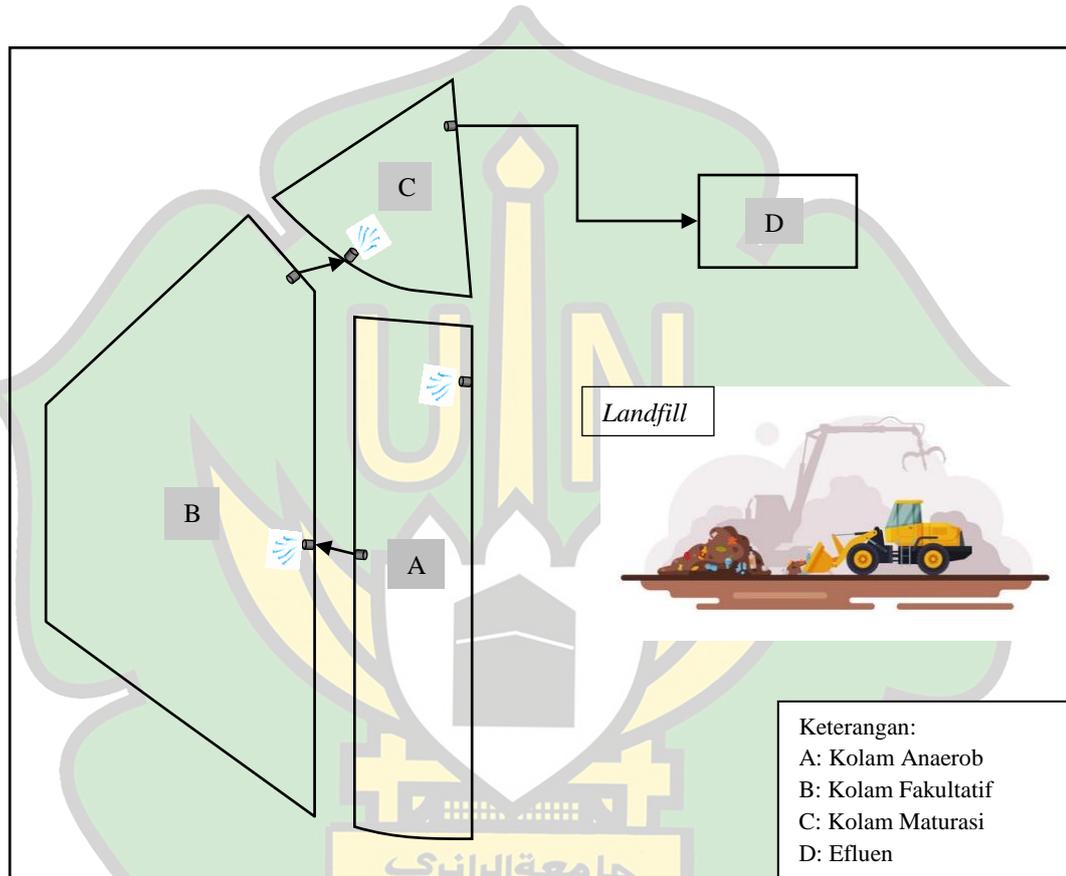


**Gambar 3.2** (a) Kolam Anaerob; (2) Kolam Fakultatif; (3) Kolam Maturasi; dan 4) Efluen Air Lindi

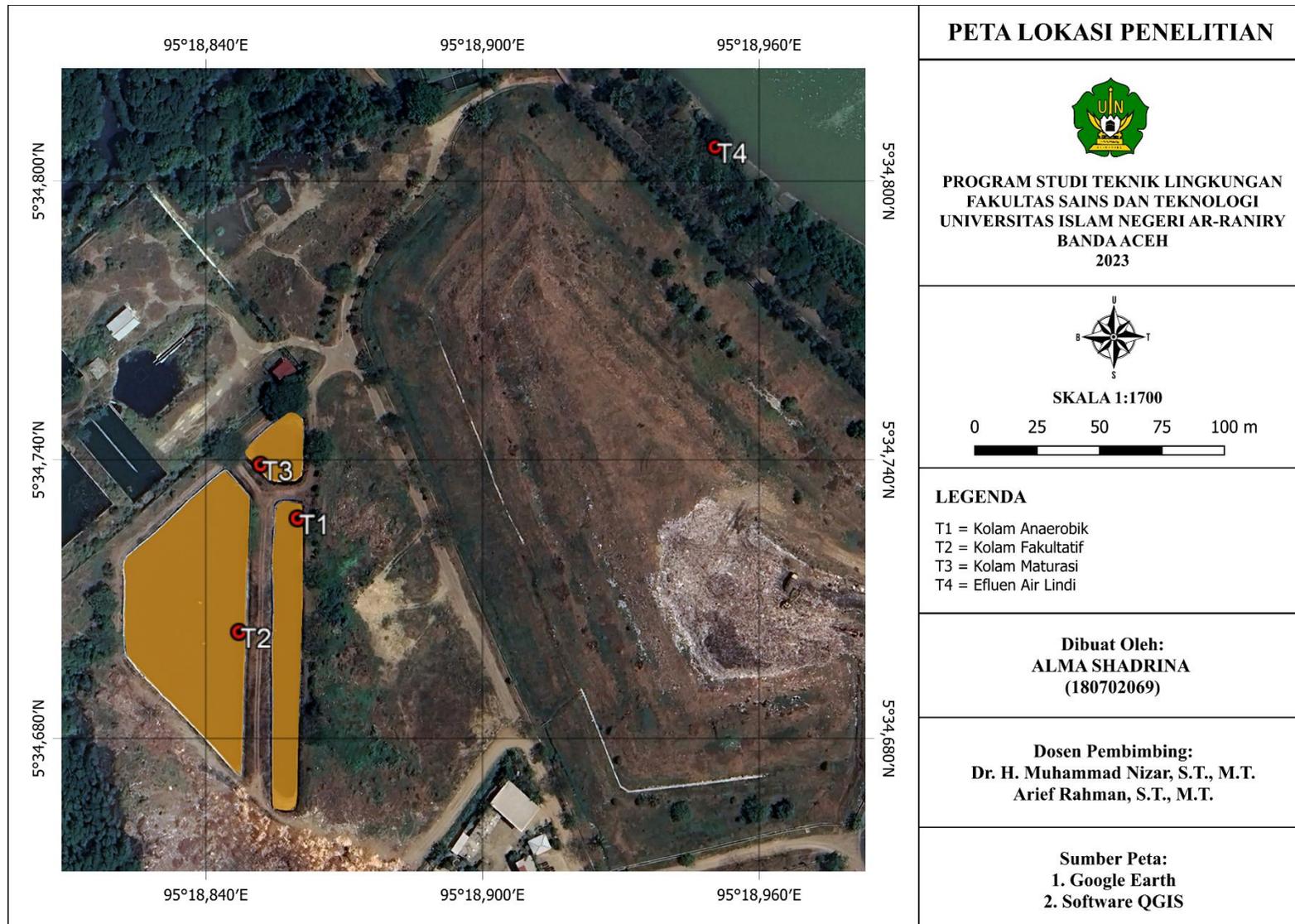
**Tabel 3.1** Lokasi Pengambilan Sampel

No.	Kode Sampel	Lokasi	Koordinat
1.	Titik 1	Kolam Anaerob	5°57'87.7"N 95°31'43.2"E
2.	Titik 2	Kolam Fakultatif	5°57'83.8"N 95°31'41.2"E
3.	Titik 3	Kolam Maturasi	5°57'89.8"N 95°31'42.0"E
4.	Titik 4	Efluen Air Lindi	5°57'99.5"N 95°31'60.5"E

Penentuan titik pengambilan sampel dilakukan dengan cara *purposive sampling*. Metode ini dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan dari segi keamanan dan keselamatan akses pengambilan sampel. Analisis mikroplastik dilakukan di Laboratorium Multifungsi Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Denah kolam lindi TPA Gampong Jawa dan lokasi titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Denah Kolam Lindi TPA Gampong Jawa Banda Aceh



**Gambar 3.4** Peta Titik Sampling di TPA Gampong Jawa Banda Aceh

(Sumber: Pengolahan Data, 2022)

### 3.3 Alat dan Bahan

#### a. Survei dan pengambilan sampel

Alat yang digunakan adalah:

- 1) Botol Plastik 250 ml, sebagai wadah sampel
- 2) Alat tulis (*notebook*, pulpen, label)
- 3) Kamera Canon EOS M100 sebagai alat dokumentasi

#### b. Pengujian sampel

Sampel air lindi diuji berdasarkan jumlah, karakteristik mikroplastik (bentuk dan warna) dan jenis polimernya. Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk pengujian sampel di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

**Tabel 3.2** Alat dan Bahan Analisis Sampel

Parameter	Alat	Bahan
Mikroplastik	<i>Beaker glass</i>	Sampel air lindi 200 ml (total 800 ml pada 4 titik)
	<i>Hot plate stirrer</i>	Kertas saring Whatman No. 42
	<i>Magnetic stirrer</i>	Larutan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30% 20 ml
	Pipet volume 100 ml	Larutan FeSO <sub>4</sub> 0,05 M 20 ml
	Spatula	Larutan NaCl
	Pompa vakum	Aquades
	Mikroskop Binokuler	Aluminium foil
	FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared</i> )	

### 3.4 Pengumpulan Data

Data penelitian diambil dari data sekunder dan data primer. Data sekunder pada penelitian ini dikumpulkan melalui kajian literasi yang digunakan dalam merumuskan masalah penelitian dan penguatan data primer, tabel analisa mikroplastik berdasarkan referensi identifikasi mikroplastik serta upaya penanggulangan pencemaran mikroplastik. Data primer yang diperoleh merupakan data hasil observasi lapangan, pengambilan sampel, dan pengujian sampel.

### 3.5 Metode Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel air lindi dilakukan secara *grab sampling* yang mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Titik pengambilan sampel berada di dekat pipa saluran pembawa air lindi ke setiap kolam. Sampling dilakukan pada saat cuaca dalam keadaan cerah (Yona

dkk., 2021). Pengambilan sampel air lindi menggunakan alat sampler sederhana berupa gayung. Sampel air lindi diambil sebanyak 200 ml, Setiap botol sampel diberi label untuk memudahkan peneliti dalam membedakan sampel pada saat pengujian.



**Gambar 3.5** Pengambilan Sampel Air Lindi

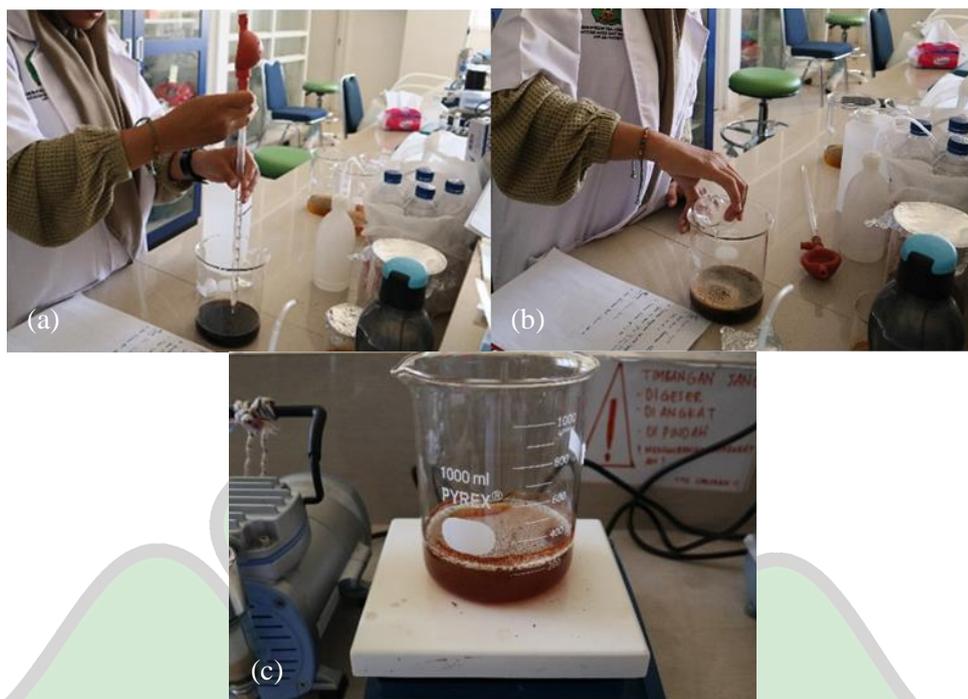
### **3.6 Analisis Laboratorium**

#### **3.6.1 Pengujian Mikroplastik**

Metode pengujian sampel mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh peneliti Ihsan (2021) dan Utami & Agustina (2022). Setiap sampel melalui tahapan degradasi bahan organik, pemisahan densitas, penyaringan dan pemilahan secara visual untuk menghitung kelimpahan mikroplastik.

##### **3.6.1.1 WPO (Wet Peroxide Oxygen)**

Proses WPO bertujuan untuk menghancurkan bahan organik yang terkandung dalam sampel. Degradasi bahan organik dilakukan agar mudah menganalisa sampel karena partikel mikroplastik dan bahan organik telah terpisah. Tahap pertama diambil sampel air lindi sebanyak 200 mL dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan masing-masing 20 mL larutan  $H_2O_2$  30% dan larutan  $FeSO_4$ . Sampel dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu  $75^\circ C$  selama 30 menit. Setelah dipanaskan sampel didiamkan selama 24 jam.



**Gambar 3.6** (a) Penambahan  $H_2O_2$  pada sampel; (b) Proses penambahan 20 mL  $FeSO_4$ ; (c) Proses pemanasan dengan *hot plate*

### 3.6.1.2 Separasi

Selanjutnya tahap separasi dilakukan untuk memisahkan partikel mikroplastik dari bahan organik. Sampel yang sudah terpisah dari kandungan organik ditambahkan 200 mL larutan NaCl lalu ditutup dengan aluminium foil. Kemudian *beaker glass* yang berisi sampel dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Setelah dihomogenkan, sampel dibiarkan lagi selama 24 jam.



**Gambar 3.7** (a) Penambahan NaCl 200 mL; (b) Proses pengadukan larutan dengan *magnetic stirrer*

### 3.6.1.3 Filtrasi

Pada tahap filtrasi, pemilahan sampel dilakukan dengan cara menyaring supernatan menggunakan kertas saring whatman No. 42. Penyaringan supernatan bertujuan untuk larutan dari partikel mikroplastik dengan bantuan pompa vakum. Penggunaan pompa vakum dinilai sangat efektif karena dapat mempercepat keringnya kertas saring setelah dituangkan larutan sampel (Yona dkk., 2021). Kemudian kertas saring dibiarkan semalam di desikator dan ditutup dengan aluminium foil.



**Gambar 3.8** Penyaringan mikroplastik menggunakan pompa vakum

### 3.6.1.4 Pengamatan dengan Mikroskop

Partikel mikroplastik diidentifikasi secara visual menggunakan mikroskop untuk mengetahui jumlah, bentuk, dan warna. Langkah awal pengoperasian dilakukan dengan cara menghidupkan alat dan menyesuaikan pencahayaan. Sampel diletakkan di atas *microscope stage* dan dengan perbesaran 10 kali. Fokus mikroskop diatur agar dapat mengekspos sampel dengan teliti.



**Gambar 3.9** Identifikasi jumlah, bentuk dan warna mikroplastik dengan mikroskop

### 3.6.1.5 Pengamatan dengan FTIR

Metode spektroskopi yang dapat digunakan untuk mengetahui jenis polimer dari partikel mikroplastik yaitu *Fourier Transform Infrared* (FTIR). FTIR memancarkan sinar infra merah kemudian diserap oleh polimer plastik dan dipancarkan kembali dalam bentuk spektrum. Proses pembacaan sampel dilakukan dengan meletakkan sampel di tengah alas besi. Hasil analisa mikroplastik dengan FTIR berbentuk grafik berisi nilai panjang gelombang yang terserap oleh sampel mikroplastik dan direkam serta disimpan pada *software* komputer.



**Gambar 3.10** Pengujian Polimer Mikroplastik dengan instrument FTIR

## 3.7 Analisis Data

### 3.7.1 Analisis Data Mikroplastik

Data yang dianalisa merupakan data hasil observasi secara visual menggunakan mikroskop yang akan dianalisis secara deskriptif. Analisis data dengan mikroskop dilakukan pada sampel air lindi untuk perhitungan kelimpahan mikroplastik. Berikut adalah rumus jumlah partikel/L untuk perhitungan kelimpahan mikroplastik (Utami dkk., 2022).

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik} = \frac{\text{Jumlah partikel mikroplastik (partikel)}}{\text{volume air tersaring (L)}}$$

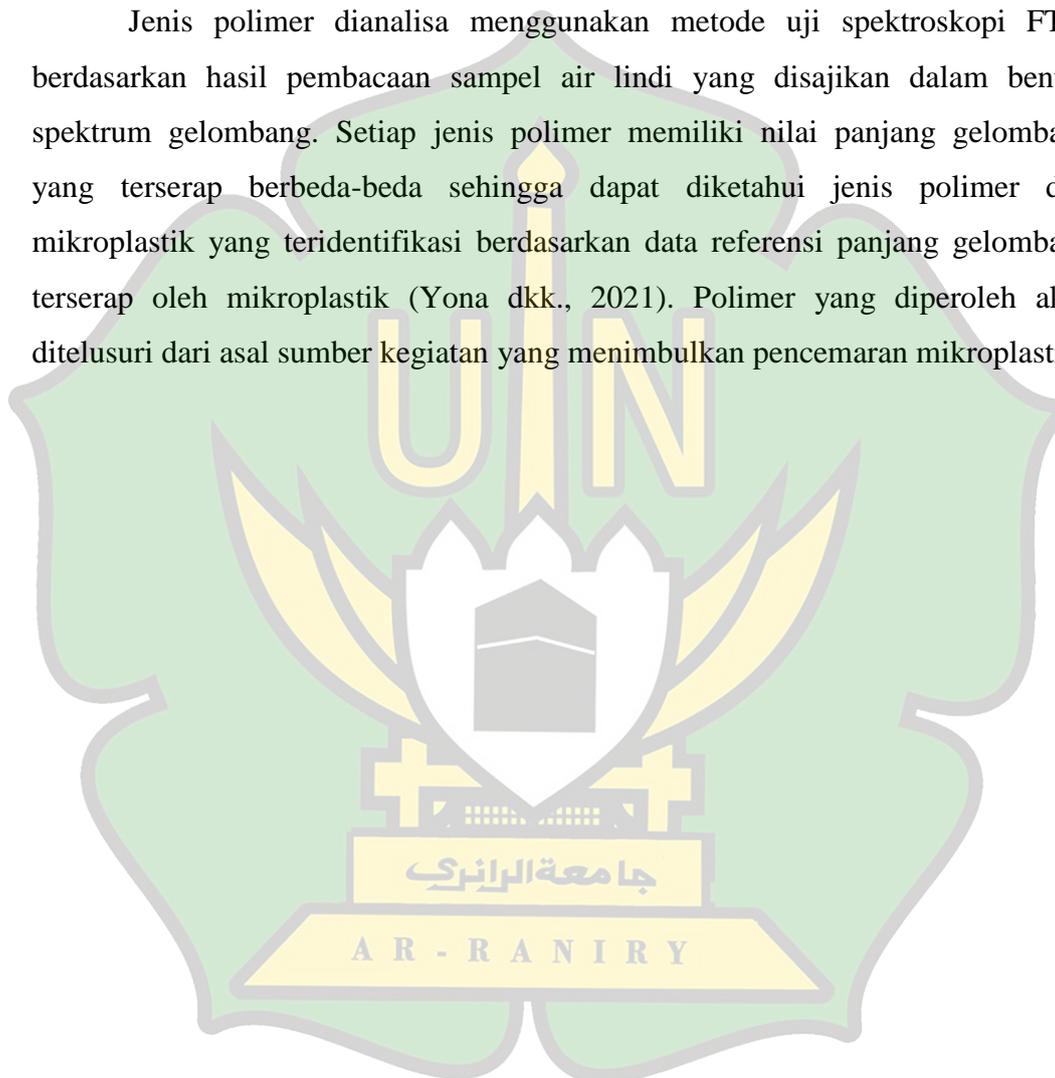
Selain pengamatan pada kuantitas mikroplastik, juga dilakukan untuk mengamati karakteristik mikroplastik meliputi bentuk dan warna pada masing-masing sampel. Adapun bentuk mikroplastik berupa fragmen, *foam*, *film*, *pellet*, dan *fiber*. Mikroplastik memiliki beragam warna yaitu hitam, putih, merah, biru, hijau, transparan, dan lain-lain. Analisis data bentuk dan warna mikroplastik

diperoleh dari hasil perhitungan jumlah dan persentase. Perhitungan persentase bentuk dan warna mikroplastik menggunakan rumus berikut.

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Jumlah partikel jenis atau warna (partikel)}}{\text{Jumlah keseluruhan partikel jenis atau warna (partikel)}} \times 100\%$$

### 3.7.2 Analisis Data Polimer

Jenis polimer dianalisa menggunakan metode uji spektroskopi FTIR berdasarkan hasil pembacaan sampel air lindi yang disajikan dalam bentuk spektrum gelombang. Setiap jenis polimer memiliki nilai panjang gelombang yang terserap berbeda-beda sehingga dapat diketahui jenis polimer dari mikroplastik yang teridentifikasi berdasarkan data referensi panjang gelombang terserap oleh mikroplastik (Yona dkk., 2021). Polimer yang diperoleh akan ditelusuri dari asal sumber kegiatan yang menimbulkan pencemaran mikroplastik.

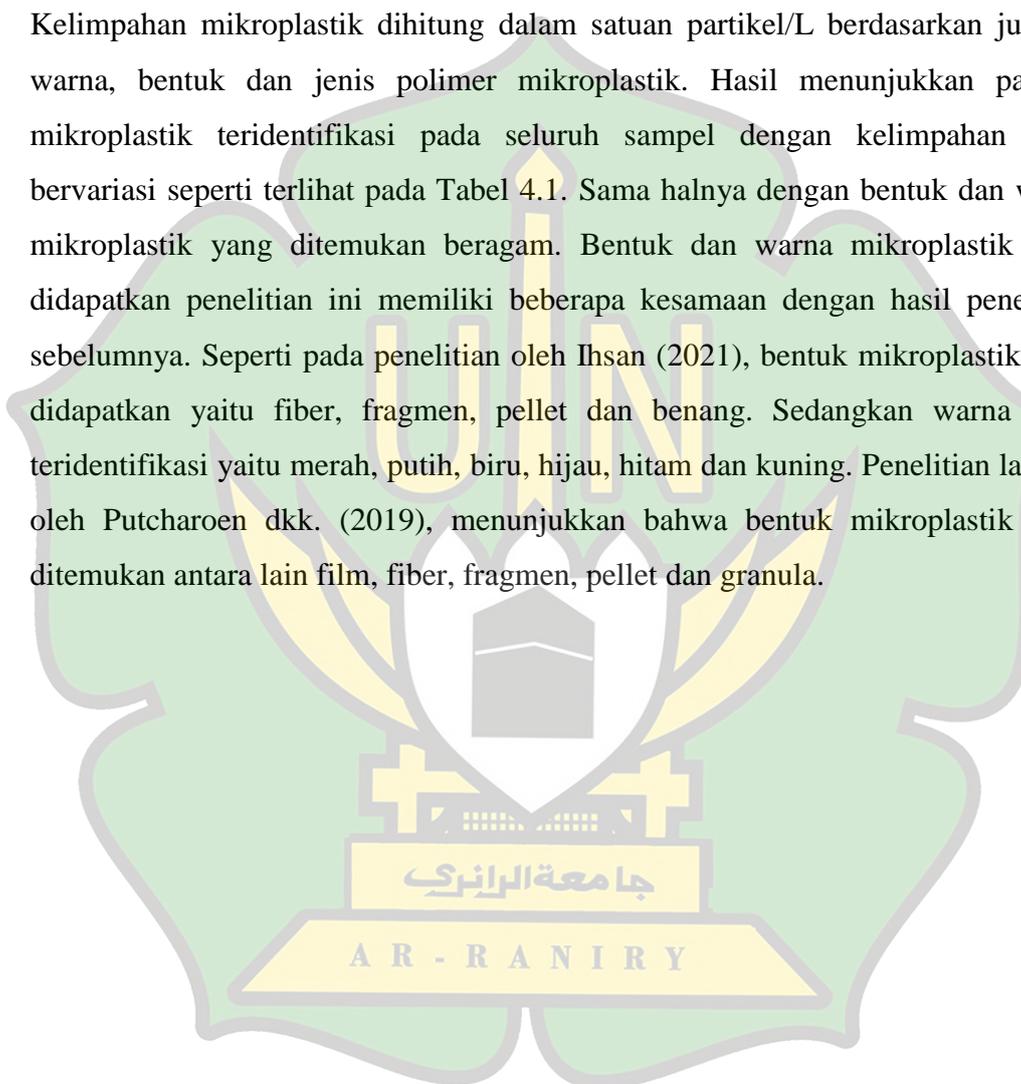


## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Analisis Kelimpahan Mikroplastik

Dalam penelitian ini analisis mikroplastik dilakukan menggunakan metode gravimetri yang diadopsi dari metode Ihsan (2021) dan Utami & Agustina (2022). Kelimpahan mikroplastik dihitung dalam satuan partikel/L berdasarkan jumlah, warna, bentuk dan jenis polimer mikroplastik. Hasil menunjukkan partikel mikroplastik teridentifikasi pada seluruh sampel dengan kelimpahan yang bervariasi seperti terlihat pada Tabel 4.1. Sama halnya dengan bentuk dan warna mikroplastik yang ditemukan beragam. Bentuk dan warna mikroplastik yang didapatkan penelitian ini memiliki beberapa kesamaan dengan hasil penelitian sebelumnya. Seperti pada penelitian oleh Ihsan (2021), bentuk mikroplastik yang didapatkan yaitu fiber, fragmen, pellet dan benang. Sedangkan warna yang teridentifikasi yaitu merah, putih, biru, hijau, hitam dan kuning. Penelitian lainnya oleh Putharoen dkk. (2019), menunjukkan bahwa bentuk mikroplastik yang ditemukan antara lain film, fiber, fragmen, pellet dan granula.



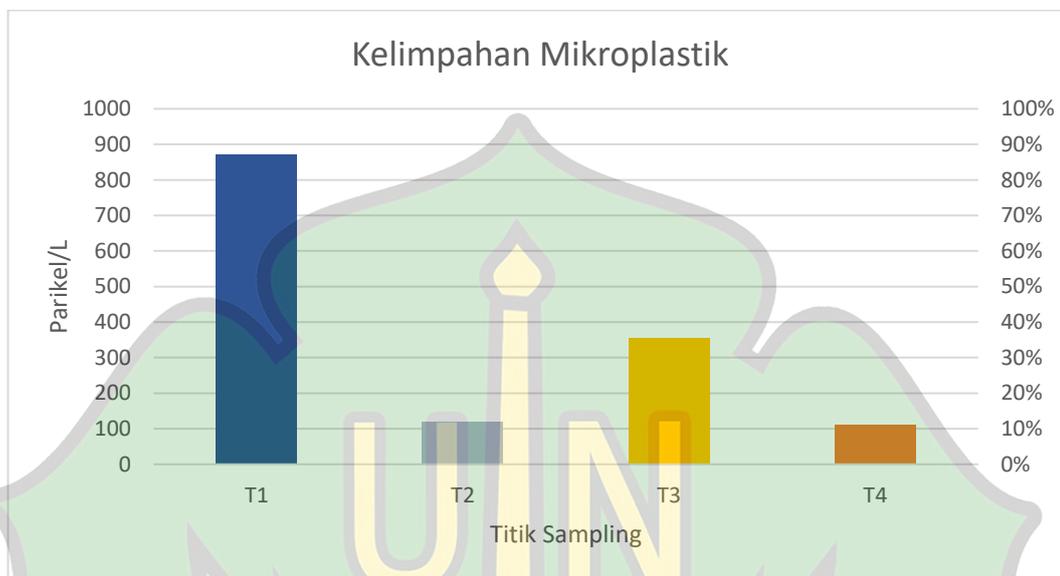
**Tabel 4.1** Rata-Rata Kelimpahan Mikroplastik Setiap Lokasi Sampling

No.	Lokasi Sampling	Volume Air Tersaring (L)	Mikroplastik (Partikel)				Total Partikel Mikroplastik di Lokasi	Kelimpahan (Partikel/L)				Total Jumlah Kelimpahan (Partikel/L) di Lokasi
			Fragmen	Film	Fiber	Pelet		Fragmen	Film	Fiber	Pelet	
1.	T1	200 mL/0,2 L	70	49	54	1	174	350	245	270	5	870
2.	T2	200 mL/0,2 L	11	9	4	0	24	55	45	20	0	120
3.	T3	200 mL/0,2 L	29	16	25	1	71	145	80	125	5	355
4.	T4	200 mL/0,2 L	9	6	7	0	22	45	30	35	0	110
<b>Jumlah Bentuk Mikroplastik</b>			<b>119</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>2</b>	<b>291</b>	<b>595</b>	<b>400</b>	<b>450</b>	<b>10</b>	<b>1455</b>
<b>Rata-rata</b>			<b>29,75</b>	<b>20</b>	<b>22,5</b>	<b>0,5</b>	<b>72,75</b>	<b>148,75</b>	<b>100</b>	<b>112,5</b>	<b>2,5</b>	<b>363,75</b>

Keterangan: T1 = Kolam Anaerobik; T2 = Kolam Fakultatif; T3 = Kolam Maturasi; dan T4 = Efluen air Indi.

#### 4.1.1 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Jumlah

Pada hasil penelitian ini telah ditemukan mikroplastik pada seluruh sampel air lindi dari T1, T2, T3 dan T4 di TPA Gampong Jawa. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.6** Grafik Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Jumlah

*Keterangan: T1 = Kolam Anaerobik; T2 = Kolam Fakultatif; T3 = Kolam Maturasi; dan T4 = Efluen Air Lindi*

Hasil perhitungan kelimpahan mikroplastik pada kolam anaerobik (T1) teridentifikasi paling tinggi yaitu sebesar 870 partikel/0,2 L sedangkan titik dengan kelimpahan paling rendah yaitu T2 dan T4 sebesar 120 partikel/0,2 L dan 110 partikel/0,2 L. Tingginya kelimpahan mikroplastik pada kolam anaerobik dikarenakan jumlah sampah plastik makro yang masuk ke dalam kolam pengolahan air lindi. Letak lokasi kolam anaerobik berada paling dekat dengan *landfill* sehingga dicurigai beberapa sampah plastik terbawa angin dan limpasan air berasal dari tanah timbunan yang longsor berakhir di kolam tersebut. Di samping itu, kolam fakultatif dan efluen air lindi memiliki jumlah mikroplastik yang rendah disebabkan oleh densitas partikel mikroplastik yang padat pada kolam sebelumnya (T1) akan terakumulasi sedangkan mikroplastik yang nilai densitasnya lebih ringan akan terangkut melalui limpasan air hujan ke kolam fakultatif. Selain itu, ada kemungkinan pelepasan mikroplastik akan lebih tinggi pada saat curah hujan tinggi (Nurhasanah dkk., 2022).

Pada kolam maturasi (T3) kelimpahan mikroplastik meningkat secara tidak wajar dengan kelimpahan sebesar 355 partikel/0,2L. Berdasarkan pengamatan langsung debit lindi pada kolam maturasi paling rendah hingga hampir tampak dasar kolam secara menyeluruh. Hal ini mempengaruhi proses pengambilan sampel pada permukaan yang menjadi lebih dekat dengan sedimen. Dimana sedimen mengandung lebih banyak partikel mikroplastik dibanding air permukaan. Selain itu, sampah makro terlihat menyebar di bagian dalam kolam, dimana letak kolam maturasi sejajar dengan kolam anaerobik sehingga sampah dari luar bak lindi dengan mudah dapat berakhir di kolam ini.

Beberapa faktor lain juga mempengaruhi kelimpahan mikroplastik pada air lindi yaitu jenis TPA, usia TPA, timbunan sampah plastik yang masuk ke TPA, proses fragmentasi, kandungan bahan organik pada air lindi dan proses pengolahan lindi (Kilponen, 2016). Proses pengolahan lindi berperan dalam penguraian dan degradasi mikroplastik yang dibantu oleh aktivitas mikroorganisme yang berada di TPA seperti bakteri dan jamur (Haryanti, 2020). Pengolahan air lindi di TPA Gampong Jawa terdiri dari anaerobik, fakultatif dan maturasi. Kolam pengolahan lindi di TPA Gampong Jawa digunakan untuk menurunkan kadar organik pada air lindi. Air lindi di TPA mengandung partikel mikroplastik berasal dari sampah plastik yang terdegradasi di *landfill* TPA. Perubahan kelimpahan mikroplastik dari kolam anaerobik sampai efluen terjadi tidak signifikan yang diakibatkan oleh kondisi eksisting kolam pengolahan lindi. Berdasarkan penelitian oleh Ihsan (2021), hubungan kelimpahan mikroplastik dengan kemampuan pengolahan air lindi di TPA bernilai negatif atau lemah walaupun kandungan mikroplastik menunjukkan pengurangan disetiap proses namun tidak signifikan. Efektivitas pengurangan mikroplastik dalam proses pengolahan air lindi dapat bervariasi tergantung pada desain dan kapasitas sistem pengolahan yang digunakan.

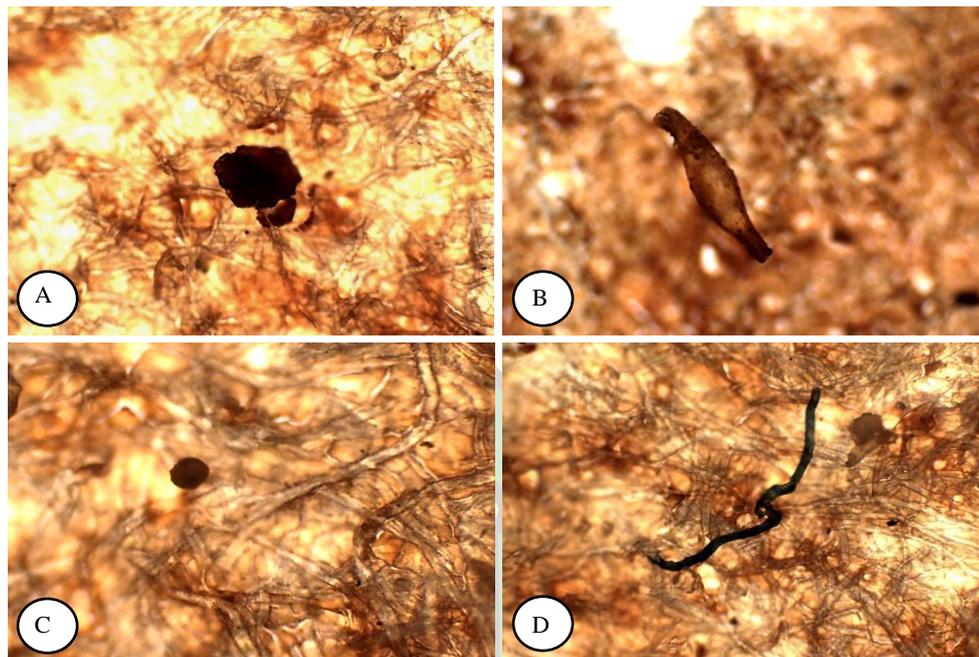
Kelimpahan mikroplastik pada air lindi TPA Gampong Jawa rata-rata 363,75 partikel/0,2 L. Utami & Agustina (2022), menemukan bahwa kelimpahan mikroplastik pada kolam *inlet* maupun *outlet* pengolahan lindi TPA Piyungan rata-rata sebesar 154,80 dan 135,60 partikel/l. Kelimpahan mikroplastik pada air lindi TPA Gampong Jawa lebih besar dari penelitian Utami & Agustina (2022).

Hal ini disebabkan oleh kondisi pengolahan lindi dan pengelolaan sampah di lingkungan TPA.

Temuan mikroplastik dengan jumlah yang tinggi pada air lindi TPA Gampong Jawa dapat memberikan informasi awal bahwa degradasi dan fragmentasi sampah plastik menjadi mikroplastik dapat menjadi ancaman lingkungan yang nyata saat ini. Mikroplastik dalam air lindi TPA dapat mencemari lingkungan secara umum, termasuk tanah, air tanah, dan ekosistem air. Partikel-partikel ini dapat terbawa oleh aliran air ke sungai, dan akhirnya mencapai laut. Mikroplastik juga dapat mengancam organisme laut dan ekosistem laut yang lebih luas karena potensi dampak pada makhluk hidup melalui paparan konsumsi serta perilaku mikroplastik mampu bertindak sebagai vektor atau pengangkut polutan berbahaya dalam air lindi. Hal itu dapat memberikan efek toksik apabila terpapar dalam jangka panjang. Dampak negatif mikroplastik tersebut perlu menjadi alasan agar parameter mikroplastik dapat dimasukkan ke dalam baku mutu air dan baku mutu air limbah di lingkungan (Utami & Liani, 2021).

#### **4.1.2 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Bentuk**

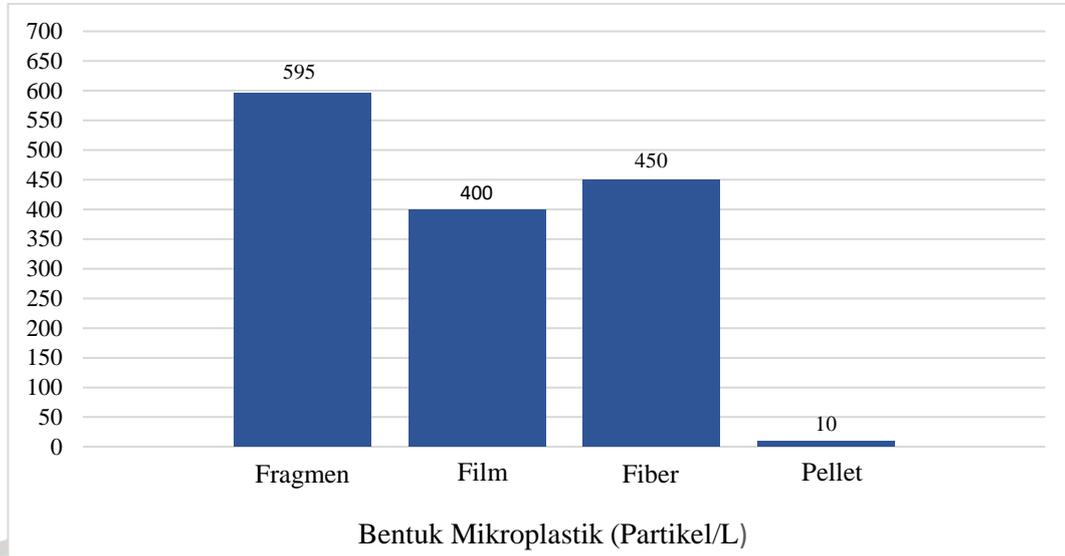
Hasil observasi secara visual menggunakan mikroskop ditemukan beberapa bentuk mikroplastik. Mikroplastik tersebut yaitu bentuk fragmen, film, pellet dan fiber. Mikroplastik yang berbentuk fragmen paling mendominasi pada setiap sampel yaitu sebesar 41% dari jumlah total keseluruhan kelimpahan mikroplastik sebesar 1455 partikel/L seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 poin A. Sedangkan bentuk mikroplastik yang jarang ditemukan adalah pellet yaitu sebesar 0,5% seperti terlihat pada poin C.



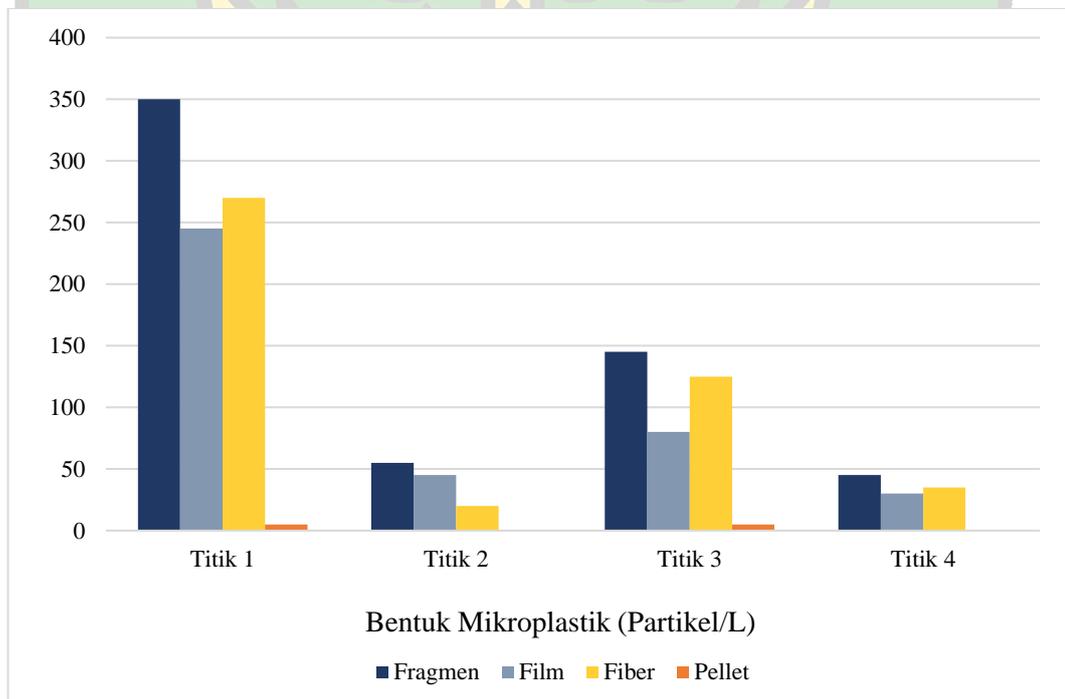
**Gambar 4.7** Bentuk Mikroplastik: A. Fragmen; B. Film; C. Pellet, dan; D. Fiber

Fragmen merupakan partikel keras berbentuk tidak beraturan yang terlihat seperti pecahan dari material yang lebih besar (GESAMP, 2019). Bentuk fragmen memiliki pori-pori yang berlimpah dengan permukaan yang kasar. Bentuk fragmen berasal dari proses fragmentasi kantong plastik maupun sedotan akibat cahaya matahari. Fragmen banyak ditemukan pada penggunaan produk plastik yang keras seperti peralatan rumah tangga dengan jenis polimer yang mendominasi adalah *polypropylene* dan *polyethylene* (Yona dkk., 2021). Film adalah partikel datar dan fleksibel dengan tepi halus dan rapuh. Selain itu, film mengandung banyak struktur terlipat dan memiliki bentuk yang tidak tetap di tepinya. Film dapat berasal dari fragmentasi limbah plastik-plastik makro dari aktivitas manusia seperti kantong plastik, kemasan, pembungkus dan botol plastik yang tidak didaur ulang (Rahmatillah, 2022). Mikroplastik film dapat berasal dari polimer *polypropylene*, *polyvinyl chloride* (PVC) dan *polyethylene* (PE) (Yona dkk., 2021). Pellet adalah partikel berbentuk bulat dengan sifat yang keras. Pellet memiliki pori-pori melimpah yang kemungkinan disebabkan oleh pengaruh lingkungan (Dhaifan, 2021). Bentuk pellet sering ditemukan dari produksi mikroplastik primer yang terkandung dalam produk perawatan kulit. Mikroplastik bentuk fiber adalah bahan berserat panjang menguntai seperti benang. Fiber dapat

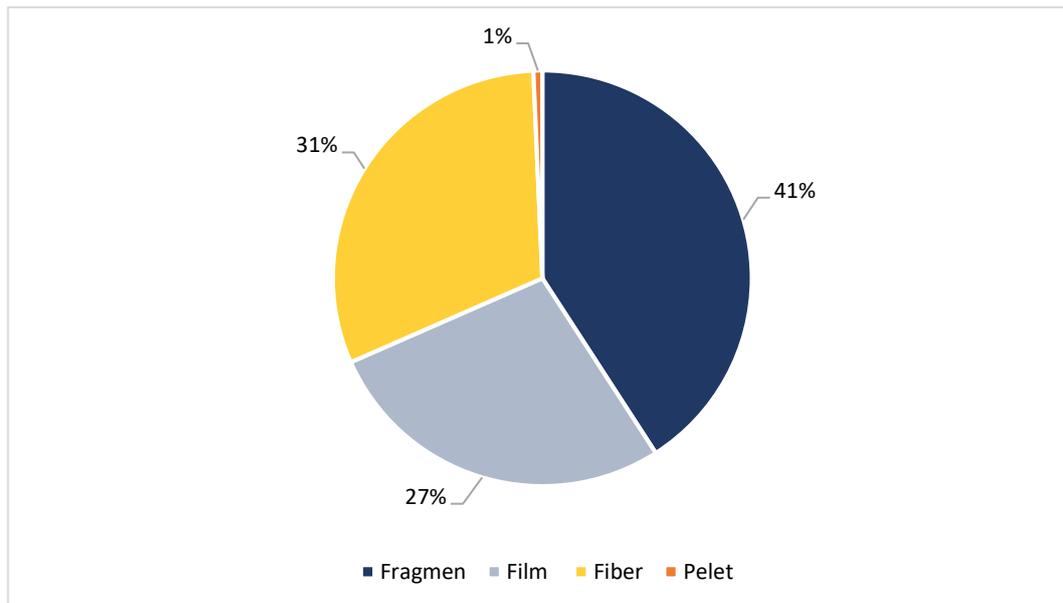
bersumber dari serat pakaian yang sudah rapuh sehingga terurai menjadi partikel plastik lebih kecil. Fiber dapat terbentuk dari polimer *nylon* dan *polyethylene* (PE) (Yona dkk., 2021).



**Gambar 4.8** Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Bentuk



**Gambar 4.9** Proporsi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk pada Lokasi



**Gambar 4.10** Komposisi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air Lindi

Berdasarkan data pada Gambar 4.6 mikroplastik bentuk fragmen pada sampel T1 paling mendominasi yang memiliki jumlah 350 partikel/0,2 L atau sebesar 40,5%. Sedangkan bentuk fiber terbanyak setelah fragmen yaitu sebesar 270 partikel/0,2 L atau sebesar 31%, kemudian diikuti oleh film sebesar 28%. Mikroplastik bentuk pellet memiliki jumlah paling kecil yaitu 5 partikel/0,2 L atau sebesar 0,5% dari keseluruhan jumlah mikroplastik pada sampel tersebut.

Pada sampel T2 bentuk mikroplastik yang teridentifikasi lebih sedikit dibandingkan sebelumnya yaitu fragmen, film dan fiber. Bentuk fragmen ditemukan paling banyak yaitu 55 partikel/0,2 L atau sebesar 46% yang sama seperti pada sampel T2, namun kelimpahan pada sampel T2 mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal ini juga terjadi pada bentuk mikroplastik lainnya yaitu film sebesar 45 partikel/0,2 L atau 37,5% dan fiber sebesar 20 partikel/0,2 L atau 16,5%.

Bentuk mikroplastik yang ditemukan pada sampel T3 sama seperti pada sampel T1 yaitu fragmen, film, fiber dan pellet. Bentuk fragmen ditemukan masih sebagai yang paling banyak yaitu sebesar 145 partikel/0,2 L atau 41%. Sedangkan bentuk mikroplastik pellet menjadi yang paling jarang ditemui yaitu sebesar 5 partikel/0,2 L atau 1,5% sama dengan kelimpahan pada sampel T1.

Pada sampel T4 bentuk mikroplastik fragmen merupakan bentuk yang masih paling banyak teridentifikasi yaitu sebesar 45 partikel/0,2 L atau 41%. Sedangkan bentuk yang paling jarang ditemui yaitu fiber sebesar 35 partikel/0,2 atau 32%.

Dari keseluruhan bentuk mikroplastik yang diidentifikasi fragmen merupakan bentuk yang paling mendominasi pada semua sampel. Partikel mikroplastik berbentuk fragmen lebih mudah ditemukan karena mempunyai massa benda yang rendah sehingga mengambang di atas permukaan air. Sumber dari fragmen berasal dari limbah rumah tangga berupa plastik makro seperti plastik pembungkus makanan yang mengalami fragmentasi menjadi potongan-potongan partikel kecil. Berdasarkan data yang diperoleh Nizar dkk. (2021), sampah plastik berada pada urutan kedua komposisi sampah paling banyak yang masuk ke TPA Gampong Jawa setelah sampah sisa makanan. Hal ini memperjelas bahwa limbah plastik perlu dikelola dengan solusi yang tepat agar timbulan sampah plastik lebih terkendali.

#### 4.1.3 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Warna

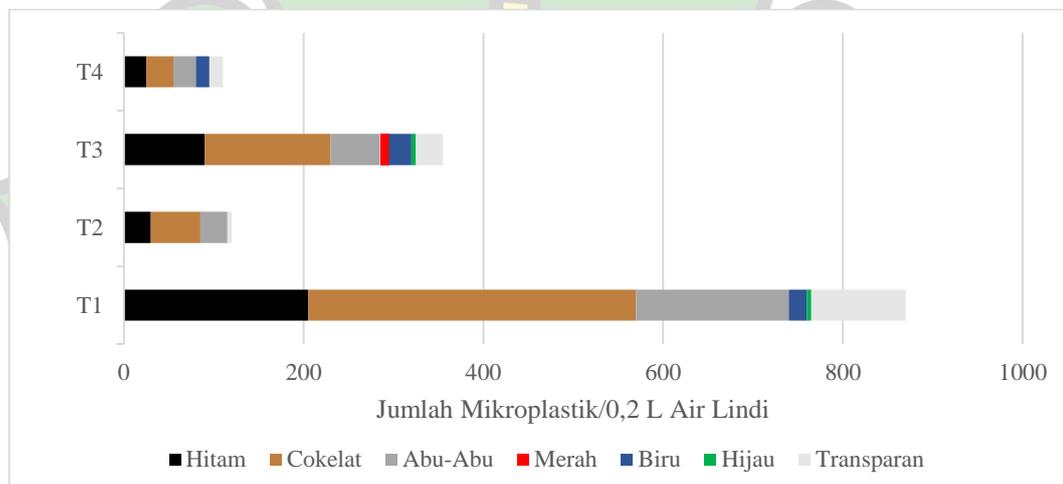
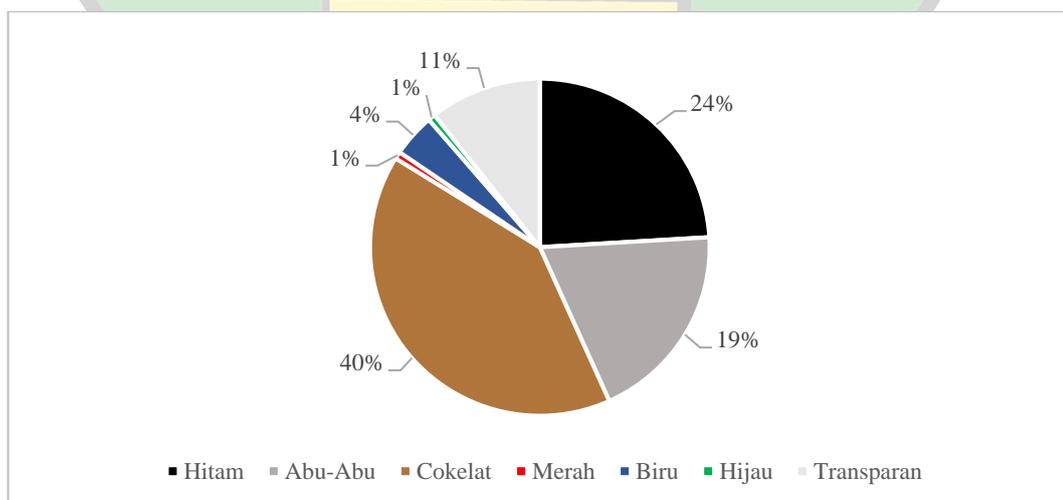
Dari perhitungan mikroplastik ditemukan beberapa warna pada sampel air lindi yaitu hitam, abu-abu, cokelat, merah, biru, hijau dan transparan. Kelimpahan warna mikroplastik dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Jumlah Mikroplastik Berdasarkan Warna pada Sampel Air Lindi

Lokasi	Jumlah Warna Mikroplastik (Partikel/Item)						
	Hitam	Abu-Abu	Cokelat	Merah	Biru	Hijau	Transparan
T1	41	34	173	4	1	21	
T2	6	6	11	0	0	0	1
T3	18	11	28	2	5	1	6
T4	5	5	6	0	3	0	3
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>56</b>	<b>118</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>31</b>
	<b>291</b>						

**Tabel 4.3** Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Warna pada Sampel Air Lindi

Lokasi	Volume Air Tersaring (L)	Kelimpahan Warna Mikroplastik (Partikel/L)						
		Hitam	Abu-Abu	Cokelat	Merah	Biru	Hijau	Transparan
T1	0,2 L	205	170	365	0	20	5	105
T2	0,2 L	30	30	55	0	0	0	5
T3	0,2 L	90	55	140	10	25	5	30
T4	0,2 L	25	25	30	0	15	0	15
<b>Total</b>		<b>350</b>	<b>280</b>	<b>590</b>	<b>10</b>	<b>60</b>	<b>10</b>	<b>155</b>
		<b>1455</b>						

**Gambar 4.11** Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Warna pada Lokasi Sampling**Gambar 4.12** Komposisi Mikroplastik Berdasarkan Warna pada Sampel Air Lindi

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa warna yang ditemukan pada sampel T1 yaitu hitam, abu-abu, coklat, biru, hijau dan transparan. Warna coklat merupakan warna yang paling dominan dengan persentase sebesar 42%. Sedangkan warna hijau menjadi warna yang paling sedikit ditemukan yaitu sebesar 0,5 %. Pada sampel T2 warna mikroplastik yang teridentifikasi hanya hitam, abu-abu, coklat dan transparan. Warna coklat ditemukan paling banyak yaitu sebesar 46%, kemudian diikuti warna hitam dan abu-abu dengan persentase yang sama yaitu sebesar 25%. Warna transparan pada sampel T2 menjadi yang terkecil dibandingkan dengan sampel lainnya yaitu hanya sebesar 4%. Warna mikroplastik yang ditemukan pada sampel T3 mencakup semua warna yang diidentifikasi yaitu hitam, abu-abu, coklat, merah, biru, hijau dan transparan. Warna coklat didapat paling banyak yaitu sebesar 39,5%. Sedangkan hijau menjadi warna yang paling sedikit pada sampel T3 dengan persentase sebesar 1,5%. Warna coklat merupakan warna yang paling dominan ditemukan pada sampel T4 yang berasal dari efluen air lindi. Pada sampel ini warna coklat memiliki persentase yaitu sebesar 27%. Sedangkan warna paling sedikit dimiliki oleh warna biru dan transparan yang sama-sama memiliki persentase sebesar 13,5%.

Secara keseluruhan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 bahwa warna coklat merupakan warna yang paling dominan pada seluruh sampel yaitu sebesar 40% dan warna hitam ditemukan paling banyak setelah warna coklat sebesar 24%. Sedangkan warna yang paling jarang ditemukan yaitu warna merah hanya teridentifikasi pada sampel T3 dan hijau ditemukan pada sampel T1 dan T3 dengan persentase masing-masing sebesar 1%.

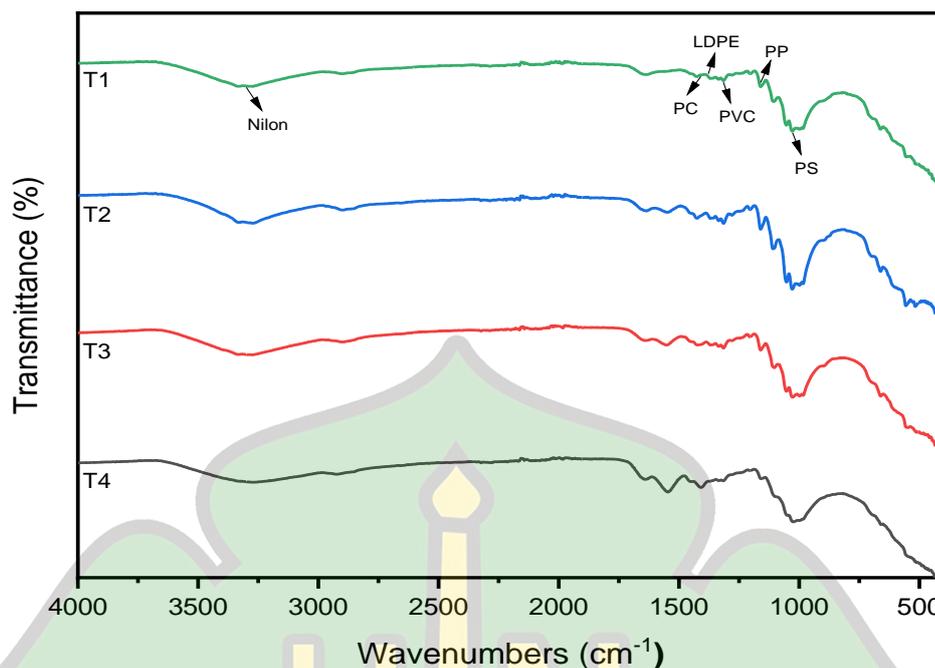
Warna hitam dan gelap (coklat, ungu, dan hijau) menunjukkan jenis PS dan PP dan diduga juga mengandung polutan seperti PAHs dan PCBs yang terserap (Ridlo dkk., 2020). Keberadaan polutan PAHs dan PCBs pada mikroplastik dapat menyebabkan risiko kesehatan pada organisme hidup. PAHs dan PCBs dapat terlepas dari mikroplastik dan masuk ke dalam organisme melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi atau paparan lingkungan. Polutan ini memiliki sifat bioakumulatif, yang berarti mereka dapat menumpuk dalam

jaringan organisme seiring waktu dan memperbesar risiko toksisitas jangka panjang.

Perbedaan warna pada mikroplastik disebabkan oleh paparan sinar matahari yang lebih lama sehingga mengakibatkan perubahan warna. Pada umumnya, warna mikroplastik yang lebih pekat dan mencolok menunjukkan bahwa mikroplastik tersebut belum mengalami perubahan warna (*discolouring*) yang signifikan. Warna mikroplastik yang pekat sering ditemui pada setiap penelitian terkait mikroplastik. Mikroplastik berwarna hitam memiliki kemampuan penyerapan terhadap polutan yang dapat mempengaruhi tekstur permukaan mikroplastik. Pada penelitian ini juga ditemukan mikroplastik berwarna transparan dapat mengidentifikasi polimer PP dan durasi proses fotodegradasi pada mikroplastik oleh sinar UV (Dhaifan, 2021). Zat warna pada mikroplastik juga dapat berasal dari penambahan logam berat pada pembuatan plastik sehingga mempengaruhi warna mikroplastik saat proses degradasi (Massos, 2017). Mikroplastik yang berubah warna dapat mengakumulasi konsentrasi PAH yang lebih tinggi dibandingkan mikroplastik baru (Verla. Warna mikroplastik juga mengindikasikan lama waktu tinggal (*residence time*) di lingkungan, serta tingkat pelapukan (Ridlo dkk., 2020).

#### **4.3 Jenis Polimer Mikroplastik**

Hasil pengujian FTIR pada sampel air lindi bertujuan untuk mendeteksi gugus fungsi yang menunjukkan eksistensi beberapa polimer mikroplastik seperti terlihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.13** Grafik Hasil Analisis FTIR Pada Sampel Air Lindi

Berdasarkan keseluruhan hasil spektrum uji FTIR mikroplastik menunjukkan adanya polimer dengan munculnya puncak serapan gelombang IR. Jenis polimer mikroplastik yang teridentifikasi adalah *Nylon*, *Polycarbonate* (PC), *Low-density polyethylene* (LDPE), *Polyvinyl chloride* (PVC), *Polypropylene* (PP) dan *Polystyrene* (PS).

Keberadaan polimer *nylon* ditandai dengan adanya *peak* pada bilangan gelombang  $3298\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi *N-H stretch*. Vibrasi adalah pola getaran pada molekul yang dihasilkan sinar laser mengenai gugus fungsi pada sampel sehingga memunculkan *peak/puncak* (Sulistyani & Huda, 2018). Mikroplastik jenis *nylon* merupakan polimer sintesis yang termasuk ke dalam *polyamide* bersifat kuat, tahan gesekan dan elastisitas besar (Apipah dkk., 2014). *Nylon* dapat berasal dari serat kain pada pakaian, karpet, bulu sikat gigi, tali dan selang yang bersumber dari limbah rumah tangga.

*Polycarbonate* (PC) diperkuat dengan munculnya *peak* pada gelombang  $1409\text{ cm}^{-1}$  dengan adanya ikatan *aromatic ring stretch*. Polimer ini hanya ditemukan pada sampel T1 dengan kelimpahan mikroplastik tertinggi. *Polycarbonate* (PC) adalah salah satu polimer termoplastik yang elastis dengan bantuan panas dengan karakteristik fisiknya yang keras, transparan dan bening.

Di samping itu, polimer ini memiliki kelemahan yaitu tidak ramah lingkungan karena sulit didaur ulang. Polimer PC biasanya digunakan pada produk-produk rumah tangga seperti botol plastik, kemasan plastik yang berlapis (kemasan saset), komponen otomotif dan bahan dasar digital disk (CD dan DVD) (Irsyadillah, 2022).

Polimer *Low-density polyethylene* (LDPE) teridentifikasi pada *peak* bilangan gelombang  $1377\text{ cm}^{-1}$  dengan ikatan  $\text{CH}_3$  *bend*. LDPE memiliki sifat fleksibel yang mampu dibentuk berulang kali bila dipanaskan karena penyusun polimernya adalah monomer rantai dengan cabang yang cukup banyak. Selain itu, polimer LDPE memiliki keunggulan dari segi kekuatan, tahan terhadap cuaca, tahan pada senyawa kimia, tidak mudah hancur, dan mudah didaur ulang (Irsyadillah, 2022). Bahan polimer LDPE dapat ditemukan pada kantong belanja swalayan, kemasan makanan, dan pembungkus plastik (plastik *wrap* dan plastik *ziplock*) yang sering dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari.

*Polyvinyl chloride* (PVC) ditemukan pada puncak serapan  $1331\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi  $\text{CH}$  *bend*. PVC biasanya dipakai sebagai bahan dasar pipa, isolasi kabel listrik, profil pintu dan jendela, serta mainan anak. Keunggulan PVC menjadikan polimer ini digunakan secara masif karena memiliki sifat yang tidak mudah terbakar, resisten terhadap aliran listrik dan bahan kimia, tahan terhadap korosi dan pelapukan sehingga dapat bertahan lama. Namun di sisi lain, PVC mengandung senyawa untuk meningkatkan fleksibilitas yang dapat memicu sel kanker dan kelainan hormon pada manusia. Hal ini jelas berbahaya apabila diaplikasikan sebagai kemasan makanan dan alat medis dalam jangka waktu lama (Pitanova & Alva, 2023).

Jenis polimer *polypropylene* (PP) ditunjukkan dengan adanya ikatan  $\text{CH}$  *bend*,  $\text{CH}_3$  *rock* dan  $\text{C-C}$  *stretch* yang terdeteksi pada serapan bilangan gelombang  $1166\text{ cm}^{-1}$ . Polimer PP mempunyai sifat yang sedikit lebih keras dan tahan retak. Oleh karena itu, mikroplastik jenis PP dapat berasal dari botol minum dan wadah bekal dan sedotan.

Polimer *polystyrene* (PS) teridentifikasi pada sampel dengan munculnya *peak* pada gelombang  $1027\text{ cm}^{-1}$  yang memiliki gugus fungsi *aromatic CH bend*.

*Polystyrene* yang umumnya dikenal dengan istilah *styrofoam* merupakan salah satu jenis termoplastik yang termasuk hidrofofik sintesis dengan karakteristik tahan panas, keras dan fleksibel (Irsyadillah, 2022). PS mampu melepaskan *styrene* apabila terpapar suhu tinggi yang dapat mengakibatkan gangguan pada sistem saraf dan otak, kelainan genetik, hati, paru-paru hingga merusak sistem kekebalan tubuh (Utami & Agustina, 2021). Jenis polimer ini sulit didaur ulang karena membutuhkan waktu yang lama untuk proses biodegradasi. Penggunaan polimer PS biasanya terdapat pada isolator, kemasan makanan dan peralatan rumah tangga.

Menurut Suprandita dkk. (2022) dan Yona dkk. (2021), mikroplastik bentuk fragmen diduga didominasi oleh jenis *Low-density polyethylene* (LDPE), *Polyvinyl chloride* (PVC) dan *Polypropylene* (PP). Bentuk fiber diduga termasuk kedalam jenis polimer *nylon*. Bentuk mikroplastik film diduga termasuk kedalam jenis *polypropylene* (PP) dan *polystyrene* (PS).

### **4.3 Upaya Penanggulangan Mikroplastik di TPA Gampong Jawa**

#### **4.3.1 Pendekatan Teknologi**

##### **4.3.1.1 Degradasi Biologis**

Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur dapat berperan dalam menguraikan mikroplastik menjadi komponen yang lebih mudah terurai. Namun, teknologi ini masih dalam tahap pengembangan dan perlu penelitian lebih lanjut.

Penelitian degradasi mikroplastik dengan penambahan mikroorganisme pendegradasi sangat diperlukan. Penggunaan mikroorganisme pendegradasi mikroplastik akan meningkatkan biodegradasi alami tanpa merusak lingkungan, sehingga strategi ini dapat menjadi alternatif untuk bioremediasi ekosistem alami tanpa efek samping yang berarti. Air lindi yang disaring dari sampah di tempat pembuangan akhir (TPA) dapat digunakan sebagai sumber mikroba pendegradasi karena diperkirakan mikroorganisme telah teradaptasi hidup dengan bahan plastik sebagai sumber nutrisi dan lingkungannya.

Distribusi mikroorganisme tergantung pada proses dan kondisi fisika, kimia dan biologi, serta bervariasi pada skala spasial dan temporal. Pada sampel air lindi sifat-sifat fisika-kimia digunakan sebagai referensi untuk tahapan teknis memancing mikroorganisme atau biasa disebut isolasi mikroorganisme. Prosedur

isolasi mikroorganisme selalu mempertimbangkan kondisi alami tempat asal mikroorganisme dan bagaimana mikroorganisme akan digunakan. Oleh karena itu, jenis-jenis mikroplastik pada sampah akan digunakan untuk memancing mikroorganisme pendegradasi mikroplastik (Pikoli dkk., 2021).

#### 4.3.1.2 Metode Pemisahan

Teknologi pemisahan yang beragam telah diterapkan untuk menghilangkan kontaminan termasuk plastik di TPA. Metode-metode ini terutama dikategorikan berdasarkan prinsip pemisahannya yaitu ukuran, kepadatan, dan hidrofobisitas.

##### 1. Ukuran

Secara khusus, penyisihan mikroplastik membutuhkan langkah pemisahan tambahan setelah proses konvensional karena ukurannya. Pemisahan mikroplastik menggunakan filtrasi dengan skala filter yang berbeda dari ukuran makro hingga nano. Filtrasi membran, filtrasi pasir, filtrasi gravitasi, ultrafiltrasi, dan reverse osmosis telah digunakan untuk menghilangkan mikroplastik. Untuk pemisahan mikroplastik yang efisien, teknologi pemisahan ini digabungkan dengan pendekatan lain. Misalnya, bioreaktor membran, yang terdiri dari filtrasi membran dan reaktor biologis pertumbuhan tersuspensi, menghilangkan 99,9% mikroplastik dari limbah. Namun, penyumbatan yang cepat merupakan hambatan teknis yang signifikan dalam pendekatan pengolahan air limbah berbasis ukuran. Pengotoran membrane mengurangi keluaran sampel; dengan demikian pemisahan membran lanjutan seperti filtrasi membran sekuensial dan teknologi membran dinamis (misalnya, filtrasi aliran silang) diterapkan untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan masukan energi.

##### 2. Kepadatan plastik

Secara khusus, karena kepadatan mikroplastik yang relatif rendah termasuk PP, PS, PVC, poliuretan (PUR), dan PES berkisar antara 0,90 hingga 2,3 g/cm, metode ini efektif untuk pemisahannya dari sampel padat dan lumpur. Selain itu, jika diuji dengan larutan garam akan meningkatkan ekstraksi mikroplastik. Larutan etanol juga digunakan untuk pemisahan mikroplastik dan menunjukkan efisiensi tertinggi dibandingkan dengan metode pencernaan asam, basa, dan peroksida lainnya.

### 3. Hidrofobisitas

Sifat permukaan seperti hidrofobisitas merupakan karakteristik penting dari mikroplastik. Flotasi buih telah diterapkan di industri pertambangan dan daur ulang kertas. Karena perbedaan energi permukaan dan potensi permukaan padatan dalam limbah, padatan hidrofobik dipisahkan dalam gelembung udara atau minyak yang diterapkan. Karena mikroplastik biasanya hidrofobik, mereka dapat dipisahkan oleh tegangan antar muka. Meskipun flotasi dengan minyak dapat memisahkan bahan hidrofobik seperti mikroplastik dengan mudah, transformasi potensial dari plastik yang dipulihkan selama penghilangan minyak merupakan tantangan. Teknologi seperti flotasi udara terlarut dapat diterapkan untuk melepaskan gelembung yang lebih kecil melalui kavitasi. Pengapungan mikroplastik akan ditingkatkan dengan memasukkan gelembung mikro atau gelembung nano sehingga mikroplastik cahaya dapat dipisahkan (Hou dkk., 2020).

#### 4.3.1.3 Daur Ulang

Perlunya penggunaan sekunder dan penggunaan kembali plastik yang diproduksi telah diakui sejak awal oleh industri manufaktur dan pemrosesan polimer. Pemisahan sampah plastik sesuai dengan komposisi kimianya diidentifikasi sebagai hambatan utama untuk daur ulang yang layak secara ekonomi dengan pemulihan energi melalui pembakaran menjadi strategi yang paling menguntungkan karena kesederhanaannya dan kurangnya investasi tambahan. Insinerasi, bagaimanapun, memiliki keterbatasan dan kekurangan: beberapa polimer tidak terbakar dengan baik (PVC) atau menghasilkan gas yang sangat beracun (PUR); proses ini juga menghasilkan sejumlah besar CO dan CO<sub>2</sub>. Peningkatan kesadaran lingkungan, pengurangan biaya manufaktur dan penipisan bahan baku yang tidak dapat diperbarui mengintensifkan pengembangan teknologi yang lebih efisien untuk daur ulang dan penggunaan kembali plastik. Mereka didasarkan pada prinsip yang berbeda, tetapi semuanya memerlukan pemilahan awal sampah plastik menurut komposisi kimianya.

#### 1. Pemrosesan mekanis dan campuran vergin resin

Metode pemrosesan mekanis dan campuran vergin resin melibatkan penggilingan mekanis atau ekstrusi termal dari limbah plastik yang telah disortir

dan pencampuran konsekuensinya dengan polimer segar yang tidak digunakan. Karakteristik eksploitasi campuran tersebut dapat memenuhi standar kualitas dengan keseimbangan yang cermat antara konten baru dan daur ulang. Ini sudah diperkenalkan untuk berlatih dalam skala yang relatif besar. Misalnya, beberapa perusahaan minuman ringan besar menggunakan botol dengan jumlah plastik daur ulang yang meningkat. Kelemahan dari pendekatan ini adalah bahwa sifat mekanik polimer daur ulang secara bertahap akan memburuk pada setiap siklus pemrosesannya.

#### 2. Dekomposisi selektif ke dalam blok bangunan asli dan / atau zat reaktif

Strategi lain dekomposisi selektif ke dalam blok bangunan asli dan / atau zat reaktif didasarkan pada perlakuan fisika-kimia dari polimer yang secara struktural homogen dan bisa sesederhana pelarutan dalam pelarut selektif (tidak dapat diterapkan secara luas, tetapi lebih efisien untuk polimer PP). Salah satu reaksi yang paling banyak diteliti adalah hidrolisis termal yang menyebabkan depolimerisasi kembali ke monomer awal. PET adalah objek paling umum dari perawatan tersebut, dengan efek kondisi asam dan basa sedang diselidiki. Glikolisis polimer ini dipelajari dengan baik karena kemampuan reaksi ini untuk menghasilkan monomer yang dapat dipolimerisasi baru (bis-2hidroksietil tereftalat dan oligomer diol lainnya). Monomer baru dapat dipolimerisasi untuk membentuk polimer baru seperti PURs. Ini adalah strategi yang cukup menjanjikan berdasarkan daur ulang sampah plastik menjadi polimer baru dengan sifat yang bermanfaat (Haryanti, 2021).

#### 4.3.2 Pendekatan Holistik

Penanggulangan mikroplastik merupakan masalah yang kompleks dan memerlukan upaya dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, industri, masyarakat, dan individu. Penanganan limbah tidak hanya berfokus pada pengembangan teknologinya melainkan perlu penanganan dari sumber seperti mengurangi penggunaan plastik sekali pakai Berikut ini adalah beberapa upaya lain yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah mikroplastik:

##### 1. Kebijakan perlindungan lingkungan

Memperluas kebijakan yang ada untuk mencegah dan mengurangi polusi mikroplastik di lingkungan laut dan air tawar, serta di udara dan tanah, dan

memprioritaskan tindakan yang spesifik berdasarkan substansi dan konteks untuk sumber bervolume tinggi dan beremisi tinggi. Kebijakan pelarangan kantong plastik dan penggunaan plastik sekali pakai telah dikeluarkan pula oleh pemerintah daerah, provinsi, kabupaten ataupun kotamadya. Sebagai contoh, pemerintah Banda Aceh menerbitkan kebijakan program diet plastik khususnya kantong plastik (kresek) yaitu Peraturan Walikota Banda Aceh Nomor 111 Tahun 2020 tentang Pembatasan Penggunaan Kantong Plastik di Supermarket, Swalayan dan Mall. Toko modern dan pasar di pusat perbelanjaan diwajibkan untuk tidak menyediakan kantong plastik melainkan menggunakan kantong plastik kantong belanja ramah lingkungan, dan menerapkan kantong plastik berbayar. Pengelola pusat perbelanjaan tersebut dapat dikenakan sanksi berupa teguran lisan dan tertulis, penghentian sementara kegiatan hingga pencabutan izin sementara (Muzammil, 2022; PerWal Nomor 111 tahun 2020). Upaya lain yang dapat memberikan solusi dalam mengendalikan mikroplastik di lingkungan yaitu baku mutu. Sejauh ini standar baku mutu mikroplastik yang spesifik masih belum ditetapkan dan masih dalam upaya pengembangan tentang masalah mikroplastik dan implikasinya terhadap lingkungan makhluk hidup.

### 2. Kolaborasi internasional

Masalah mikroplastik merupakan masalah global yang membutuhkan kerja sama internasional. Kolaborasi penelitian penting untuk menggabungkan keahlian dan sumber daya dari berbagai lembaga dan negara, serta memperkuat pemahaman global tentang masalah mikroplastik dan dampaknya terhadap ekosistem dan kesehatan manusia.

### 3. Kampanye plastik sekali pakai, N I R Y

Edukasi masyarakat merupakan langkah penting dalam menjalankan program penanggulangan sampah plastik. Dimulai dari penggunaan produk plastik yang bijak, alternatif plastik dalam sehari-hari, pemanfaatan sampah plastik sampai dampak sampah plastik menjadi mikroplastik apabila mencemari lingkungan dalam jangka panjang. Tujuan edukasi meningkatkan pengetahuan agar masyarakat memiliki kesadaran untuk mengambil peran terhadap pengendalian sampah sejak dini. Alternatif ramah lingkungan yang mudah dilakukan seperti mengganti sedotan plastik dengan *stainless steel*, kantong

belanja kain, dan wadah makanan yang dapat digunakan ulang. Hal ini dapat dipromosikan salah satunya melalui sosial media. Sosial media adalah platform yang efektif untuk menyebarkan pesan dan mengajak masyarakat untuk terlibat. Kampanye dapat menggunakan tagar (*hashtag*) yang relevan, membagikan informasi, fakta, serta tips mengurangi penggunaan plastik sekali pakai. Konten yang menarik seperti gambar, video, atau infografis juga dapat digunakan untuk menarik perhatian dan mendukung pesan kampanye (Bancin & Cristy, 2020).



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah didapatkan dari data pengamatan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

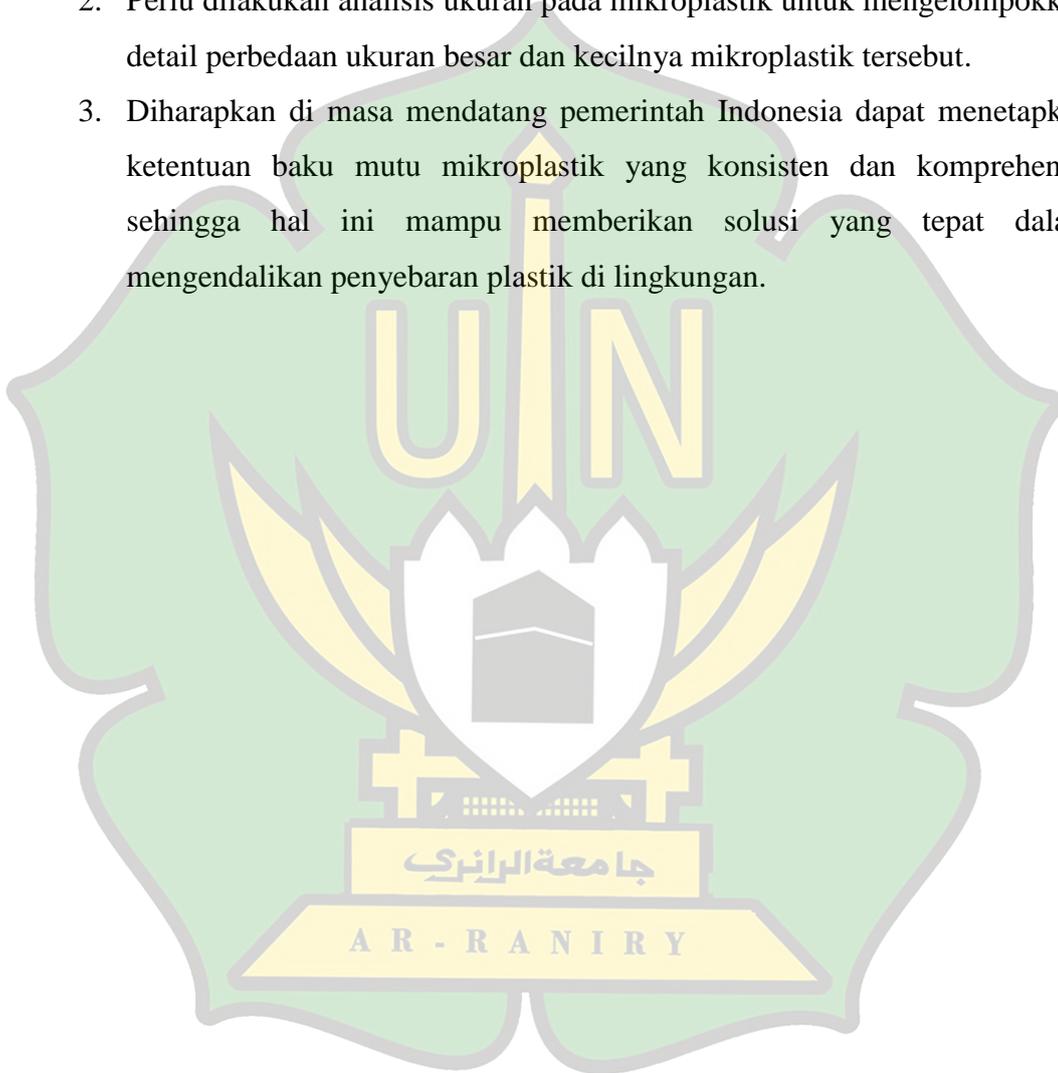
1. Total kelimpahan mikroplastik yang teridentifikasi pada kolam anaerobik, kolam fakultatif, kolam maturasi dan efluen air lindi adalah 1455 partikel/0,2 L. Kelimpahan tertinggi didapatkan pada sampe T1 (kolam anaerobik) yaitu sebesar 870 partikel/0,2 L. Sedangkan kelimpahan terendah ditemukan pada sampel T4 (efluen air lindi) yaitu sebesar 110 partikel/0,2 L. Berdasarkan bentuknya kelimpahan mikroplastik yang mendominasi adalah fragmen yaitu sebesar 595 partikel/0,2 L. Kemudian diikuti bentuk fiber yaitu sebesar 450 partikel/0,2 L, bentuk film sebesar 400 partikel/0,2 L dan kelimpahan terendah yaitu bentuk pellet sebesar 10 partikel/0,2 L. Sedangkan warna mikroplastik yang ditemukan adalah hitam, abu-abu, cokelat, merah, biru, hijau dan transparan.
2. Hasil dari analisis FTIR polimer yang teridentifikasi oleh gugus fungsi diantaranya yaitu *Nylon*, *Polycarbonate (PC)*, *Low-density polyethylene (LDPE)*, *Polyvinyl chloride (PVC)*, *Polypropylene (PP)* dan *Polystyrene (PS)*.
3. Upaya penanggulangan mikroplastik di TPA Gampong Jawa dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain:
  - Degradasi Biologis - R A N I R Y
  - Metode Pemisahan
  - Daur Ulang

Selain itu penanggulangan mikroplastik juga dapat dilakukan dengan pendekatan holistik diantaranya mengoptimalkan pengelolaan limbah plastik, menerbitkan regulasi terkait mikroplastik maupun plastik secara spesifik, kolaborasi penelitian antar lembaga swasta maupun swasta dan edukasi masyarakat.

## 5.2 Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah dijabarkan, maka penulis mengajukan beberapa saran sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian diharapkan mikroplastik dapat disahkan sebagai salah satu parameter sebagai acuan dalam pemantauan kualitas lingkungan.
2. Perlu dilakukan analisis ukuran pada mikroplastik untuk mengelompokkan detail perbedaan ukuran besar dan kecilnya mikroplastik tersebut.
3. Diharapkan di masa mendatang pemerintah Indonesia dapat menetapkan ketentuan baku mutu mikroplastik yang konsisten dan komprehensif sehingga hal ini mampu memberikan solusi yang tepat dalam mengendalikan penyebaran plastik di lingkungan.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Agus, R. N., Oktaviyanthi, R., & Sholahudin, U. (2019). 3R: Suatu Alternatif Pengolahan Sampah Rumah Tangga. *Kaibon Abhinaya: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, Vol. 1 (2).
- Apipah, E. R., Irmansyah & Juansah, J. (2014). Sintesis Dan Karakteristik Membran Nilon yang Berasal dari Limbah Benang. *Jurnal Biofisika*, Vol. 10 (1): 8-18.
- Ayuningtyas, W., C., Yona, D., Hulinda S., S., H., & Iranawati, F. (2019). Kelimpahan Mikroplastik Pada Perairan di Banyuurip, Gresik, Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*, Vol. 3 (1): 41-45.
- Azizah, P., Ridlo, A., & Suryono, C., A. (2020). Mikroplastik pada Sedimen di Pantai Kartini Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, Vol. 9 (3), pp. 326-332.
- Bancin, L. J., & Christy, J. (2020). Pengaruh Penyuluhan Kesehatan Terhadap Pengetahuan Pencemaran Sampah Makroplastik dan Mikroplastik Pada Mahasiswa Prodi D-III Perekam dan Informasi Kesehatan Stikes Imelda. *Jurnal Ilmiah Perekam Dan Informasi Kesehatan Imelda*, Vol. 5 (2): 156-165.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Metode Pengambilan Contoh Air Limbah*. SNI 6989.59:2008. Jakarta
- Basri, N., K. (2021). *Identifikasi Mikroplastik dan Pengukurannya*. Makassar: Ruki Sejahtera Raja.
- Fajri, M. I. (2021). *Kajian Analisis Kandungan Mikroplastik di Daerah Muara dan Laut*. Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- Fadzli, D. (2023). *Pengolahan Air Lindi TPA Gampong Jawa Banda Aceh dengan Menggunakan Proses Trickling Filter dan Rotating Biological Contactor (RBC)*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry: Banda Aceh.

- Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., & Zeng E. Y. (2020). A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2018JC014719.
- Harpah, N., Suryati, I., Leonardo, R., Risky., Ageng, P., & Addauwiyah. R. (2020). Analisa Jenis, Bentuk Dan Kelimpahan Mikroplastik Sungai Sei Sikambing Medan. *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 20 (2).
- Haryanti, V. (2021). *Kajian Kandungan Mikroplastik Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah*. Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H., & Lu, F. (2019). Municipal Solid water (MSW) Landfill: A Source Of Microplastics? -Evidence Of Microplastics In Landfill Leachatae. *Water Research*, 159: 38-45.
- Hou, J., Xu, X. Lan, L., Miao, L., Xu, Y., You, G. & Li, Z. (2020). Transport behavior of micro polyethylene particles in saturated quartz sand: Impacts of input concentration and physicochemical factors. *Environmental Pollution*, 263.
- Ihsan, H. W. (2021). *Analisis Kandungan Mikroplastik Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Air Dingin Padang*. Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- Irsyadillah, F. (2022). *Identifikasi Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik Pada Air Permukaan & Pencernaan Ikan Wader Cakul (Barbodes Binotatus) di Sungai Pekalen Kabupaten Probolinggo*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim: Malang.
- Jambeck, J., R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. & Law, K., L. (2015). Plastic Waste Inputs From Land Into The Ocean. *Marine Pollution*, Vol. 347 Issue 6223.
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez, V., Beers, K. L., Balazs, G. H., Jones, T. T., Work, T. M., Brignac, K. C., Royer, S. J., Hyrenbach, K. D., Jensen, B. A. & Lynch, J. M. (2018). Validation of ATR FT-IR to

Identify Polymers of Plastic Marine Debris, Including Those Ingested by Marine Organisms. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 127: 704-716.

GESAMP. (2019). *Guidelines or Monitoring and Assessment of Plastic Litter and Microplastics in The Ocean*.

Kilponen, J. (2016). *Microplastics and Harmful Substances in Urban Runoffs and Landfill Leachates*. Finlandia: Lathi University of Applied Sciences.

Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). *Microplastics in Fisheries and Aquaculture: Status of Knowledge on Their Occurrence and Implications for Aquatic Organisms and Food Safety*. FAO.

Mauludy, M. S., Yunanto A., Yona D. (2019). Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Pantai Wisata Kabupaten Badung, Bali. *Jurnal Perikanan*, Vol. 21 (2): 73-78.

Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D. & Rahman, M. A. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In: Membrane Characterization. *Elsevier Inc.*, pp. 3-29.

Muzammil. (2022). *Implementasi Peraturan Wali Kota Banda Aceh Nomor 111 Tahun 2020 Tentang Pembatasan Penggunaan Kantong Plastik Di Kota Banda Aceh (Studi Kasus Pada Swalayan di Kecamatan Syiah Kuala)*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry: Banda Aceh.

Nasution, R. S. (2015). Berbagai Cara Penanggulangan Limbah Plastik. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, Vol. 1 (1).

Nizar, M., Munir, E., Irvan., & Munawar, E. (2021). Household Waste Management Strategy Toward Zero Waste City: A Case Study Of Banda Aceh. *Journal of Sustainability Science and Management*, Vol. 16 (3): 257-275.

Nurhasanah, Cordova M. R., & Riani E. (2021). Micro- and Mesoplastics Release From The Indonesian Municipal Solid Waste Landfill Leachate to The

Aquatic Environment: Case Study in Galuga Landfill Area, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 163 (111986).

Peraturan Walikota Banda Aceh Nomor 111 tahun 2020 tentang Pembatasan Penggunaan Kantong Plastik di Supermarket, Swalayan dan Mall.

Pikoli, M. R., Rahmah, F. A., Sari, A. F. & Solihat, N. A. (2021). Memancing Mikroba dari Sampah: Isolasi Mikroorganisme Pendegradasi Mikroplastik dari Tempat Pembuangan (TPA) Sampah. *Amal Jariyah & Kinzamedia*:

Pitanova, T. & Alva, S. (2023). Karakteristik Mekanikal Material Polimer PVC dengan Variasi Konsentrasi VCO (Virgin Coconut Oil). *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, Vol. 5 (1).

Poerio, T., Piacentini, E., & Mazzei, R. (2019). Membrane Processes for Microplastics Removal. *Molecules*, Vol. 24 (22): 41-48.

Purwaningrum, P. (2016). Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 8 (2).

Putro, D. H. W. (2021). *Identifikasi Keberadaan Mikroplastik Pada Sedimen di Sungai Winongo Yogyakarta*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.

Rahmatillah, A. (2022). *Analisis dan Monitoring Mikroplastik di Muara Sungai Kota Banda Aceh dan Aceh Besar*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry: Banda Aceh.

Ridlo, A., Ario, R., Al Ayyub, A. M., Supriyantini, E., & Sedjati, S. (2020). Mikroplastik pada Kedalaman Sedimen yang Berbeda di Pantai Ayah Kebumen Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, Vo. 23 (3):325-332.

Saleh, C. (2012). Studi Perencanaan Instalasi Pengolahan Limbah Lindi Sebagai Kontrol Pemenuhan Baku Mutu Sesuai Kepmen 03/91 (Studi Kasus Pada TPA Supit Urang Malang). *Jurnal Media Teknik Sipil*, Vol. 10 (2).

Shofi, M., & Humairoh, D. (2019). Pengenalan dan pelatihan Penggunaan Mikroskop pada Siswa Kelas IV SD Islamic International School

Pesantren Sabilil Muttaqien Kediri. *In Prosiding (SENIAS) Seminar Pengabdian Masyarakat.*

Silva, A. L., Prata, J. C., Duarte, A. C., Soares, A. M., Barceló, D., & Rocha-Santos, T. (2021). Microplastics in Landfill Leachates: The Need for Reconnaissance Studies and Remediation Technologies. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3, 100072.

Simatupang, M., Mangalla, L. K., Lolok, A., Edwin, R. S., Muh, L. O., Arsyad, N., & Fitriah. (2021). Pemanfaatan Instalasi Pengolahan Limbah untuk Mereduksi Limbah Berbahaya pada Tempat Pembuangan Akhir Andoolo. *Jurnal Panrita Abdi*, Vol. 5 (3).

Su, Y., Zhang, Z., Wu, D., Zhan, L., Shi, H., & Xie, B. (2019). Occurrence of Microplastics in Landfill Systems and Their Fate with Landfill Age. *Journal Water Research*, 164 (114968).

Sugiyono, 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*, Bandung: Alfabeta.

Sulistiyani M. & Huda N. (2018). Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared. *Indonesian Journal of Chemical Science*, Vol. 7 (2).

Syachbudi R. R. (2020). *Identifikasi Keberadaan dan Bentuk Mikroplastik Pada Air dan Ikan di Sungai Code, D.I Yogyakarta*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.

Utami, I. & Agustina. (2022). Deteksi Pencemaran Mikroplastik pada Air Lindi di TPA Piyungan Yogyakarta Indonesia. *Jurnal Florea: Biologi dan Pembelajarannya*, Vol. 9 (1).

Utami, I. & Liani, M. (2021). Identifikasi Mikroplastik pada Air Sumur Gali di sekitar TPA Piyungan Yogyakarta. *Jurnal Riset Daerah* (Vol. XXI, No.3).

- Utami, I., Resdianningsih, K., & Rahmawati, S. (2022) Temuan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Progo dan Sungai Opak Kabupaten Bantul. *Jurnal Riset Daerah* (Vol. XXI, No.1).
- Verla, A. W., Enyoh, C. B., Verla, E. N., & Nwarnorh, K. O. (2019). Microplastic–Toxic Chemical Interaction: A Review Study On Quantified Levels, Mechanism and Implication. *A Springer Nature Journal*, Vol. 1 (1400).
- Wahyudi, J., Prayitno, H. T., & Astuti, A. D. (2018). Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Litbang*, XIV (1): 58-67.
- Warlina, L. (2019). *Pengelolaan Sampah Plastik Untuk Mitigasi Bencana Lingkungan*. Seminar Nasional FST Universitas Terbuka.
- Widianarko, B., & Hantoro, I. (2018). *Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa*. Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata.
- World Economic Forum*. (2020). Mengurangi Polusi Plastik Secara Radikal di Indonesia Rencana Aksi Multipemangku Kepentingan. [https://www.systemiq.earth/wpcontent/uploads/2020/05/NPAP\\_Indonesia\\_Action\\_Roadmap\\_BahasaLow-1.pdf](https://www.systemiq.earth/wpcontent/uploads/2020/05/NPAP_Indonesia_Action_Roadmap_BahasaLow-1.pdf).
- Yona, D., Zahran, M. F., Fuad, M. A. Z., Prananto, Y. P., & Harlyan, L. I. (2021). *Mikroplastik di Perairan: Jenis, Metode Sampling, dan Analisis Laboratorium*. Malang: UB Press.

**LAMPIRAN**  
**PERHITUNGAN KELIMPAHAN MIKROPLASTIK**

**1. Kolam Anaerob (T1)**

$$\begin{aligned} \text{Kelimpahan Mikroplastik} &= \frac{174 \text{ (partikel)}}{0,2 \text{ (L)}} \\ &= 870 \text{ partikel/L} \end{aligned}$$

**2. Kolam Fakultatif (T2)**

$$\begin{aligned} \text{Kelimpahan Mikroplastik} &= \frac{24 \text{ (partikel)}}{0,2 \text{ (L)}} \\ &= 120 \text{ partikel/L} \end{aligned}$$

**3. Kolam Maturasi (T3)**

$$\begin{aligned} \text{Kelimpahan Mikroplastik} &= \frac{71 \text{ (partikel)}}{0,2 \text{ (L)}} \\ &= 355 \text{ partikel/L} \end{aligned}$$

**4. Efluen Air Lindi (T4)**

$$\begin{aligned} \text{Kelimpahan Mikroplastik} &= \frac{22 \text{ (partikel)}}{0,2 \text{ (L)}} \\ &= 110 \text{ partikel/L} \end{aligned}$$

